SISTEM KONTROL ELEKTRO MEKANIK & ELEKTRONIK

DAFTAR ISI

I. PENGANTAR SEPUTAR BUKU BAHAN AJAR 4
A. Deskripsi 4
B. Kompetensi Inti dan Kompetensi Dasar 5
C. Rencana Aktivitas Belajar 6
II. PEMBELAJARAN 9
Kegiatan Belajar 1 9
Komponen Pengendali berbasis Rele 9
A. Uraian Materi 9
1. Penggunaan Kontrol berbasis Rele di Industri 9
2. Relay elektronik 10
3. Aplikasi SSR 12
4. Kontaktor Magnet (*Magnetic Contactor*) 20
5. Tombol tekan (push button) 22
6. Thermal Over Load Relay (TOR/TOL). 24
B. Evaluasi 33
Kegiatan Belajar 2 34
Pengendali Motor Listrik 34
A. Uraian Materi 34
1. Kontruksi Motor Listrik 34
2. Cara Kerja Motor Listrik 41
3. Karakteristik Operasi Motor Listrik 63
4. Pengaturan Putaran 65
5. Rangkaian Kontaktor 67
6. Mengoperasikan Sistem Pengendali Eletromagnetik 74
7. Hubungan motor induksi tiga-fasa 81
B. Tugas Praktek 87
Kegiatan Belajar 3 92
Metode Starting Motor Induksi 3 Fasa 92

A. Uraian Materi 92
1. Metode Starting Motor Induksi 3 Fasa 92
B. Tugas Praktek 110
C. Evaluasi 119
Kegiatan Belajar 4 126
Prinsip Dasar Troubleshooting 126
A. Uraian Materi 126
1. Prinsip dasar troubleshooting rangkaian 126
2. Pengujian kontinuitas rangkaian 127
3. Pengujian kontinuitas rangkaian ber-tegangan 131
4. Peralatan penguji (Testing devices) 131
5. Identifikasi terminal motor dan diagram hubungan 140
6. Pelat nama motor 142
7. Troubleshooting Rangkaian Kontrol 143
8. Rangkaian *Jog/Inch* 151
9. Plug stop dan rangkaian anti-plug 158
10. Pengendali motor dua-kecepatan 162
11. Proteksi beban lebih 163
12. Contoh troubleshooting 165
13. Strategi troubleshooting 167
B. Tugas Praktek 171
DAFTAR PUSTAKA 176

I. PENGANTAR SEPUTAR BUKU BAHAN AJAR

A. Deskripsi

Kurikulum 2013 dirancang untuk memperkuat kompetensi siswa dari sisi pengetahuan. Keterampilan dan sikap secara utuh. Proses pencapaiannya melalui pembelajaran sejumlah mata pelajaran yang dirangkai sebagai suatu kesatuan yang saling mendukung pencapaian kompetensi tersebut. Buku bahan ajar dengan judul Sistem Kontrol Elektromekanik & elektronik ini merupakan salah satu referensi yang digunakan untuk mendukung pembelajaran pada paket keahlian Teknik Otomasi Industri yang diberikan pada kelas XI.

Buku ini menjabarkan usaha minimal yang harus dilakukan siswa untuk mencapai kompetensi yang diharapkan, yang dijabarkan dalam kompetensi inti dan kompetensi dasar. Sesuai dengan pendekatan yang dipergunakan dalam kurikulum 2013, siswa ditugaskan untuk mengeksplorasi ilmu pengetahuan dari berbagai sumber belajar yang tersedia dan terbentang luas di sekitarnya. Peran guru sangat penting untuk meningkatkan dan menyesuaikan daya serap siswa dengan ketersediaan kegiatan pada buku ini. Guru dapat memperkayanya dengan kreasi dalam bentuk kegiatan-kegiatan lain yang relevan bersumber dari lingkungan sosial alam.

Buku siswa ini disusun di bawah koordinasi Direktorat Pembinaan SMK, Kementrian Pendidikan dan Kebudayaan, dan dipergunakan dalam tahap awal penerapan kurikulum 2013. Buku ini merupakan “dokumen hidup" yang senantiasa diperbaiki, diperbaharui dan dimutakhirkan sesuai dengan dinamika kebutuhan dan perubahan zaman. Masukan dari berbagai kalangan diharapkan dapat meningkatkan kualitas buku ini.

B. Kompetensi Inti dan Kompetensi Dasar

KOMPETENSI INTI	KOMPETENSI DASAR
1. Menghayati dan mengamalkan ajaran agama yang dianutnya.	1.1. Menyadari sempurnanya konsep Tuhan tentang benda-benda dengan fenomenanya untuk dipergunakan sebagai aturan dalam melaksanakan pekerjaan di bidang kontrol elektromekanik. 1.2. Mengamalkan nilai-nilai ajaran agama sebagai tuntunan dalam melaksanakan pekerjaan di bidang kontrol elektromekanik.
2. Menghayati dan mengamalkan perilaku jujur, disiplin, tanggungjawab, peduli (gotong royong, kerjasama, toleran, damai), santun, responsif dan proaktif, dan menunjukkan sikap sebagai bagian dari solusi atas berbagai permasalahan dalam berinteraksi secara efektif dengan lingkungan sosial dan alam serta dalam menempatkan diri sebagai cerminan bangsa dalam pergaulan dunia	2.1. Mengamalkan perilaku jujur, disiplin, teliti, kritis, rasa ingin tahu, inovatif dan tanggung jawab dalam menerapkan aturan dalam melaksanakan pekerjaan di bidang kontrol elektromekanik. 2.2. Menghargai kerjasama, toleransi, damai, santun, demokratis, dalam menyelesaikan masalah perbedaan konsep berpikirdalam melakukan tugas di bidang kontrol elektromekanik. 2.3. Menunjukkan sikap responsif, proaktif, konsisten, dan berinteraksi secara efektif dengan lingkungan sosial sebagai bagian dari solusi atas berbagai permasalahan dalam melakukan pekerjaan di bidang kontrol elektromekanik.
3. Memahami, menerapkan dan menganalisis pengetahuan faktual, konseptual, prosedural dan metakognitif berdasarkan rasa ingin tahunya tentang ilmu pengetahuan, teknologi, seni, budaya, dan humaniora dalam wawasan kemanusiaan, kebangsaan, kenegaraan, dan peradaban terkait penyebab fenomena dan kejadian dalam bidang kerja yang spesifik untuk memecahkan masalah.	3.1. Menjelaskan prinsip operasional piranti control berbasis rele 3.2. Mendeskripsikan fungsi, spesifikasi dan karakteristik piranti control berbasis rele 3.3. Menjelaskan prinsip kerja piranti control berbasis rele 3.4. Mendeskripsikan kondisi dan unjuk kerja piranti control berbasis rele 3.5. Mendeskripsikan sistem, komponen dan gambar kerja kontrol peralatan produksi berbasis rele 3.6. Menjelaskan prinsip pemeliharaan control peralatan produksi berbasis rele 3.7. Menjelaskan Sistem Pelacakan Gangguan Sistem kontrol berbasis rele 3.8. Mendiskripsikan system operasi motor listrik 3.9. Mendeskripsikan system proteksi motor

KOMPETENSI INTI	KOMPETENSI DASAR
	listrik 3.10. Mendiskripsikan sistem dan komponen kontrol pengasutan motor listrik berbasis rele
4. Mengolah, menalar, dan menyaji dalam ranah konkret dan ranah abstrak terkait dengan pengembangan dari yang dipelajarinya di sekolah secara mandiri, dan mampu melaksanakan tugas spesifik di bawah pengawasan langsung	4.1. Mengartikulasi piranti kontrol berbasis rele 4.2. Memilih penggunaan komponen rele sesuai spesifikasi dan kebutuhan system kendali 4.3. Mengoperasikan piranti control berbasis rele 4.4. Menguji kondisi dan unjuk kerja piranti control berbasis rele 4.5. Merakit sistem kontrol peralatan produksi berbasis rele 4.6. Memelihara piranti control peralatan produksi berbasis rele 4.7. Melacak gangguan pada sistem kontrol berbasis rele 4.8. Mengoperasikan motor listrik 4.9. Menerapkan system proteksi pada pengoperasian motor listrik 4.10. Merakit panel kontrol pengasutan motor listrik berbasis rele

C. Rencana Aktivitas Belajar

Proses pembelajaran pada Kurikulum 2013 untuk semua jenjang dilaksanakan dengan menggunakan pendekatan ilmiah (saintifik). Langkah-langkah pendekatan ilmiah *(scientific approach*) dalam proses pembelajaran yang meliputi: penggalian informasi melalui pengamatan, bertanya, melakukan percobaan, kemudian mengolah data atau informasi, menyajikan data atau informasi, dilanjutkan dengan menganalisis, menalar, menyimpulkan, dan mencipta. Pada buku ini, seluruh materi yang ada pada setiap kompetensi dasar diupayakan sedapat mungkin diaplikasikan secara prosedural sesuai dengan pendekatan ilmiah.

Melalui buku bahan ajar ini, kalian akan mempelajari apa?, bagaimana?, dan mengapa?, terkait dengan masalah sistem kontrol elektropneumatik. Langkah awal untuk mempelajari materi ini adalah dengan melakukan pengamatan (*observasi*).

Keterampilan melakukan pengamatan dan mencoba menemukan hubungan-hubungan yang diamati secara sistematis merupakan kegiatan pembelajaran yang aktif, kreatif, inovatif dan menyenangkan. Dengan hasil pengamatan ini, berbagai pertanyaan lanjutan akan muncul. Nah, dengan melakukan penyelidikan lanjutan, kalian akan memperoleh pemahaman yang makin lengkap tentang masalah yang kita amati.

Dengan keterampilan ini, kalian dapat mengetahui bagaimana mengumpulkan fakta dan menghubungkan fakta-fakta untuk membuat suatu penafsiran atau kesimpulan. Keterampilan ini juga merupakan keterampilan belajar sepanjang hayat yang dapat digunakan, bukan saja untuk mempelajari berbagai macam ilmu, tetapi juga dapat digunakan dalam kehidupan sehari-hari.

Pengamatan

Melibatkan pancaindra, menggunakan penglihatan untuk membaca fenomena (visual), pendengaran untuk merekam suatu informasi (audio), termasuk melakukan pengukuran dengan alat ukur yang sesuai. Pengamatan dilakukan untuk mengumpulkan data dan informasi.

Membuat Inferensi

Merumuskan Penjelasan berdasarkan pengamatan. Penjelasan ini digunakan untuk menemukan pola-pola atau hubungan-hubungan antar aspek yang diamati, serta membuat prediksi atau kesimpulan.

Mengkomunikasikan

Mengkomunikasikan hasil penyelidikan baik lisan maupun tulisan. Hal yang dikomunikasikan termasuk data yang disajikan dalam bentuk tabel, grafik, bagan, dan gambar yang relevan.

Buku bahan ajar “Sistem Kontrol Elektromekanik & elektronik” ini, digunakan untuk memenuhi kebutuhan minimal pembelajaran pada kelas XI, semester ganjil, mencakupi kompetensi dasar 3.1 dan 4.1 sampai dengan 3.10 dan 4.10., yang terbagi menjadi lima empat (4) kegiatan belajar, yaitu :

1. Kegiatan belajar 1 (Komponen Pengendali Berbasis Rele)
2. Kegiatan belajar 2 (Pengendali Motor Listrik)
3. Kegiatan belajar 3 (Metode Starting Motor Induksi 3 Fasa)
4. Kegiatan belajar 4 (Prinsip Dasar Troubleshooting)

II. PEMBELAJARAN

Kegiatan Belajar 1

Komponen Pengendali berbasis Rele

Indikator Keberhasilan:

Setelah menyelesaikan kegiatan belajar ini, diharapkan siswa mampu:

- Menjelaskan penggunaan kontrol berbasis rele di industri
- Menjelaskan Jenis dan Karakteristik Rele
- Menjelaskan prinsip pengendalian berbasis Rele

A. Uraian Materi

1. Penggunaan Kontrol berbasis Rele di Industri

Dalam dunia otomasi saat ini, Penggunaan relay/rele masih menjadi pilihan yang tepat untuk mengendalikan beban arus tinggi. Mengingat kemampuannya yang dapat mengendalikan dan mengontrol Rangkaian beban arus tinggi menggunakan rangkaian pengendali arus rendah.

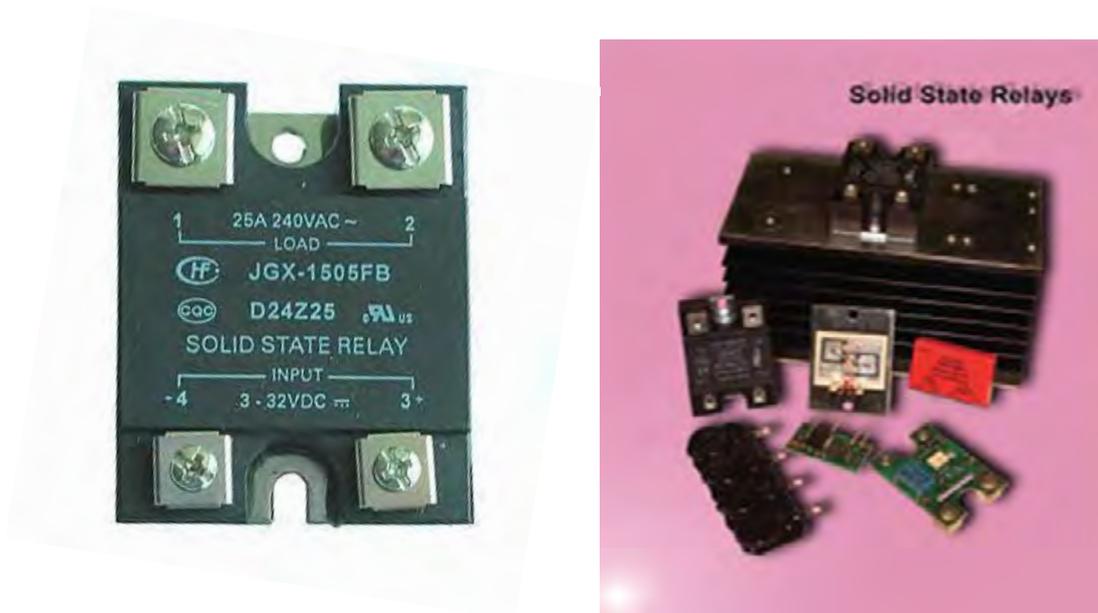
Pertanyaan : Apakah relay ini dapat dikatakan sebuah switch ?. apakah ada perbedaan switching *response time*dari berbagai jenis/type relay, dan apakah kecepatan proses switching akan mempengaruhi proses pengendalian terutama pada system sequensial. Sehingga apakah perlu pemilihan spesifikasi relay yang tepat untuk stabilitas dan kontinuitas system yang dibuat.

Kontrol berbasis relay masih banyak digunakan industry saat ini terutama pada pengendalian beban dan proses produksi. Namun sebelum melangkah lebih jauh kepada penerapannya alangkah lebih baik jika kita mengenal berbagai jenis dan type relay berdasarkan cara kerja dan sumber daya yang digunakannya. Berdasarkan cara kerjanya relay dapat dibedakan menjadi relay elektronik dan relay elektromekanik. Apa sih perbedaan keduanya, bagaimana sisi penggunaannya, seperti apa kekurangan dan kelebihan keduanya ?. Perhatikan dengan seksama paparan informasi berikut ini.

Topik-topik yang akan dibahas pada unit ini antara lain : Solid State Relay, Kontaktor magnet, tombol tekan, *thermal over load relay* (TOL), relay penunda waktu (*time delay relay*), lampu indikator, *motor circuit breaker*.

2. Relay elektronik

Yang dimaksud relay elektronik disini adalah *Solid State Relay* (SSR), merupakan saklar elektronis yang tidak seperti relay elektromekanis, dimana SSR ini tidak berisi bagian yang bergerak.

Jenis SSR adalah foto-coupled SSR, transformer-coupled SSR, dan hibrida SSR. Sebuah foto-digabungkan SSR dan dikontrol oleh sinyal tegangan rendah yang terisolasi secara optik dari beban. Sinyal kontrol dalam foto yang biasanya digabungkan dengan SSR energi adalah sebuah LED yang mengaktifkan sebuah foto-dioda sensitif. Dioda berputar pada back-to-back thyristor,silikon penyearah terkendali, atau MOSFET transistor untuk mengaktifkan beban.

Gambar 1. 1 *Solid State Relay*

SSR Ditetapkansebagaimana kontrol ON-OFF di mana arus beban dilakukan oleh satu atau lebih semikonduktor - misalnya, sebuah transistor daya, sebuah SCR, atau TRIAC. SCR dan TRIAC sering disebut “thyristors” sebuah istilah yang diperoleh dengan menggabungkan thyratron dan transistor, karena dipicu thyristor semikonduktor switch“. (Sebagai referensi tolong dibaca kembali teori dasar komponen semikonduktor dan elektronika daya pada mata pelajaran *Dasar dan Pengukuran Listrik 2* atau referensi lain).

Pada relay umumnya, SSR relatif rendah membutuhkan kontrol - sirkuit energi untuk beralih keadaan menjadi keluaran dari OFF ke AKTIF, atau sebaliknya Karena energi kontrol ini sangat jauh lebih rendah daripada daya keluaran yang dikendalikan oleh relay pada beban penuh, "power gain" dalam SSR adalah substansial - sering banyak lebih tinggi daripada di estafet elektromagnetik yang sebanding. Dengan kata lain, sensitivitas dari SSR seringkali jauh lebih tinggi daripada sebuah EMR (Elektromekanik Relai) dari output yang sebanding rating.
Solid State Relay (SSR) mampu melakukan banyak tugas yang sama sebagai relay elektromekanis (EMR). Perbedaan utama adalah bahwa SSR tidak memiliki bagian mekanik yang bergerak didalamnya. Pada dasarnya, ini adalah perangkat elektronik yang bergantung pada listrik, magnetik, dan optic semi konduktor dan sifat komponen listrik untuk mencapai isolasi dan fungsi switching Relay.

Tugas 1.

Buatlah kelompok, cari dan diskusikan mengenai jenis-jenis *Solid State Relay* (SSR) dan apakah rangkaian Opto-Isolator pada antar muka I/O *Programmable Logic Control* (PLC) termasuk Solid State Relay ? Jika Ya. Bagaimana prinsip kerjanya.

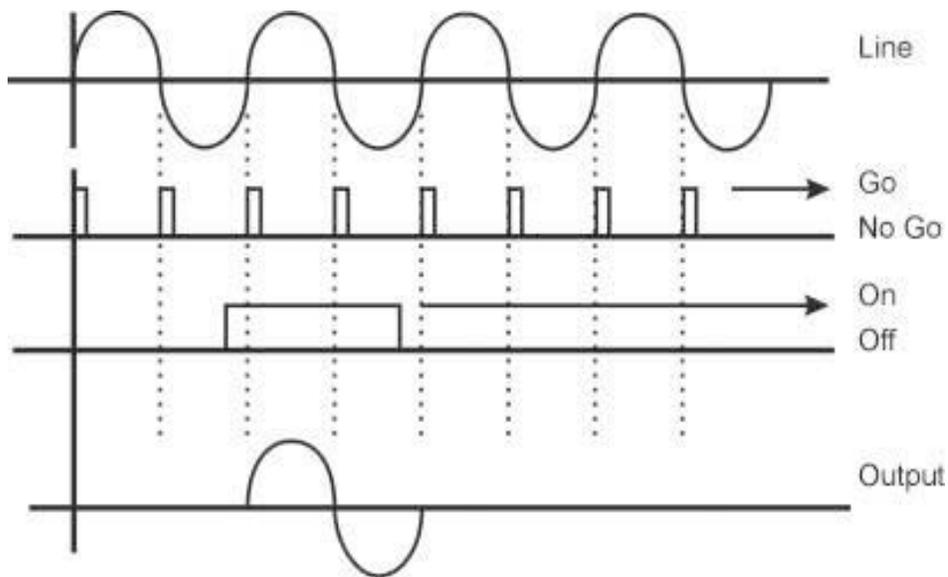
3. Aplikasi SSR

Sejak dulu, SSR telah banyak digunakan selain EMR (Elektromekanik Relay) atau Kontaktor. SSR banyak digunakan dalam industri aplikasi kontrol proses, terutama control suhu , motor, solenoida, katup dan transformer. SSR digunakan secara luas.

Contoh Aplikasi SSR mencakup :

- Otomasi Industri
- Peralatan elektronik
- Peralatan industry
- Mesin kemasan
- Tooling mesin
- Peralatan Manufaktur
- Peralatan makan
- Sistem keamanan
- Industry pencahayaan
- Api dan sistem keamanan
- Dispensing mesin
- Peralatan produksi
- On-board power control
- Traffic control
- Sistem instrumentasi
- Mesin penjual
- Uji sistem
- Mesin kantor
- Peralatan medis
- Tampilan pencahayaan
- kontrol lift
- Metrologi peralatan
- Hiburan pencahayaan

Keuntungan dan Kerugian Penggunaan Solid-State Relay

Penggunaan solid state relay mempunyai beberapa keuntungan yang menyebabkan solid-state relay saat ini menarik untuk digunakan pada aplikasi-aplikasi kontrol untuk beban AC daripada digunakannya relay mekanik (Electromechanical Relay, EMR), walaupun biaya sebuah solid-state relay lebih mahal daripada biaya sebuah relay mekanik biasa.

Gambar 1. 2 Proses Kerja *Solid-State Relay*

Keuntungan solid-state relay :

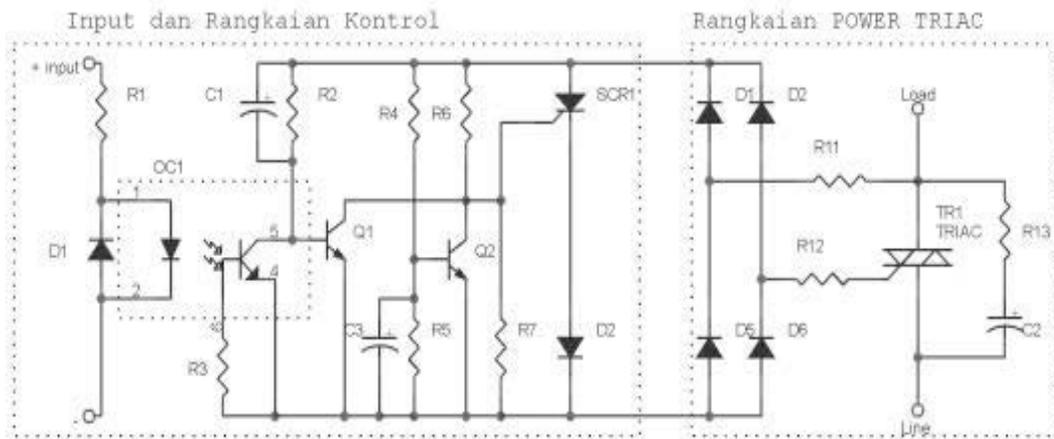
1. Pada solid-state relay tidak terdapat bagian yang bergerak seperti halnya pada relay. Relay mempunyai sebuah bagian yang bergerak yang disebut kontaktor dan bagian ini tidak ada pada solid-state relay. Sehingga tidak mungkin terjadi „*no contact*" karena kontaktor tertutup debu bahkan karat.
2. Tidak terdapat „*bounce*", karena tidak terdapat kontaktor yang bergerak paka pada solid-state relay tidak terjadi peristiwa „*bounce*" yaitu peristiwa terjadinya pantulan kontaktor pada saat terjadi perpindahan keadaan.

Dengan kata lain dengan tidak adanya bounce maka tidak terjadi percikan bunga api pada saat kontaktor berubah keadaan.

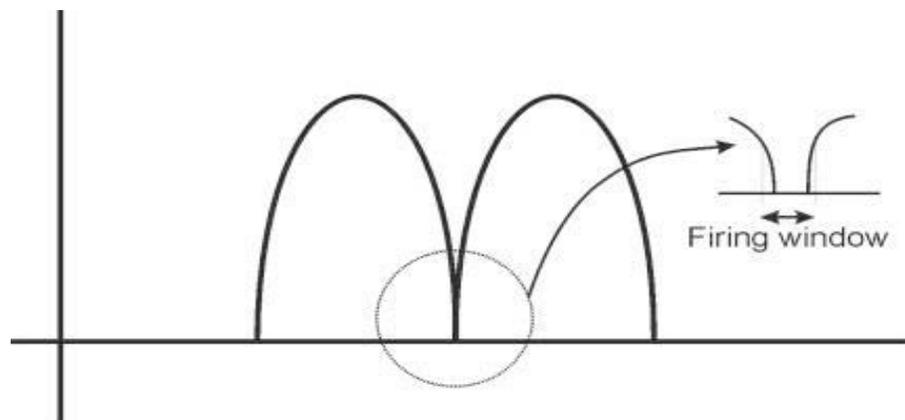
3. Proses perpindahan dari kondisi „off" ke kondisi „on" atau sebaliknya sangat cepat hanya membutuhkan waktu sekitar 10us sehingga solid-state relay dapat dengan mudah dioperasikan bersama-sama dengan *zero-crossing* detektor. Dengan kata lain operasi kerja solid-state relay dapat disinkronkan dengan kondisi *zero crossing* detektor.
4. Solid-State relay kebal terhadap getaran dan goncangan. Tidak seperti relay mekanik biasa yang kontaktornya dapat dengan mudah berubah bila terkena goncangan/getaran yang cukup kuat pada body relay tersebut.
5. Tidak menghasilkan suara „klik", seperti relay pada saat kontaktor berubah keadaan.
6. Kontaktor output pada solid-state relay secara otomatis „*latch*" sehingga energi yang digunakan untuk aktivasi solid-state relay lebih sedikit jika dibandingkan dengan energi yang digunakan untuk aktivasi sebuah relay. Kondisi ON sebuah solid-state relay akan di-*latc* sampai solid-state relay mendapatkan tegangan sangat rendah, yaitu mendekati nol volt.
7. Solid-State relay sangat sensitif sehingga dapat dioperasikan langsung dengan menggunakan level tegangan CMOS bahkan level tegangan TTL. Rangkaian kontrolnya menjadi sangat sederhana karena tidak memerlukan level konverter.
8. Masih terdapat *couple* kapasitansi antara input dan output tetapi sangat kecil sehingga arus bocor antara input output sangat kecil. Kondisi diperlukan pada peralatan medical yang memerlukan isolasi yang sangat baik.

Keuntungan solid-state relay begitu baik sekali tetapi dibalik keuntungan tersebut terdapat kerugian penggunaan solid-state relay yang perlu dipertimbangkan dalam penggunaannya.

Kerugian solid-state relay adalah sebagai berikut :

1. Resistansi Tegangan transien. Tegangan yang diatur/dikontrol oleh solid-state relay benar-benar tidak bersih. Dengan kata lain tidak murni tegangannya berupa sinyal sinus dengan tegangan peak to peak 380 vpp tetapi terdapat *spike-spike* yang dihasilkan oleh induksi motor atau peralatan listrik lainnya. Spike ini level tegangannya bervariasi jika terlalu besar maka dapat merusakkan solid-state relay tersebut. Selain itu sumber-sumber spike yang lain adalah sambaran petir, imbas dari selenoid valve dan lain sebagainya.
2. Tegangan drop. Karena solid-state relay dibangun dari bahan silikon maka terdapat tegangan jatuh antara tegangan input dan tegangan output. Tegangan jatuh tersebut kira-kira sebesar 1 volt. Tegangan jatuh ini menyebabkan adanya dissipasi daya yang besarnya tergantung dari besarnya arus yang lewat pada solid-state relay ini.
3. Arus bocor-„Leakage current". Pada saat solid-state relay ini dalam keadaan off atau keadaan open maka dalam kondisi yang idel seharusnya tidak ada arus yang mengalir melewati solid-state relay tetapi tidak demikian pada komponen yang sebenarnya. Besarnya arus bocor cukup besar untuk jika dibandingkan arus pada level TTL yaitu sekitar 10mA rms.
4. Sukar dimplementasikan pada aplikasi multi fasa.
5. Lebih mudah rusak jika terkena radiasi nuklir.

Gambar 1. 3 Rangkaian Internal *Solid State Relay*

Pada *solid-state ralay*, *switching* unit-nya biasanya menggunakan TRIAC sehingga solid-state relay ini dapat mengalirkan arus baik arus positif maupun arus negatif. Walaupun demikian untuk mengontrol TRIAC ini digunakan SCR yang mempunyai karakteristik gate yang sangat sensitif. Kemudian untuk mengatur trigger pada SCR sendiri diatur dengan menggunakan rangkaian transistor. Rangkaian transistor ini menjadi penguat level tegangan yang didapat dari optocoupler. Penggunaan SCR untuk mengatur gate TRIAC karena gate SCR mempunyai karakteristik yang lebih sensitif daripada gate TRIAC.

Antara bagian input dan output dipisahkan dengan menggunakan optocoupler dan dengan sinyal yang kecil, cukup untu menyalakan diode saja, maka cukup untuk menggerakkan sebuah beban AC yang besar melalui solid-state relay.

Gambar 1. 4 Daerah Pengaktifan sebuah SSR

Rangkaian kontrol merupakan rangkaian kontrol biasa, seperti pada umumnya. Fungsi logika AND, pada blok diagram rangkaian internal SSR, dibangun dari dua buah transistor Q1 dan Q2 yang bekerja untuk menghasilkan logika inverted NOR. Q1 akan melakukan „*clamps*" jika optocoupler OC1 dalam keadaan off. Q2 akan melakukan „*clamps*" jika tegangan bagi antara R4 dan R5 cukup untuk mengaktifkan transistor Q2. Sehingga Q2 akan melakukan clamp pada SCR jika tegangan anode SCR lebih dari 5 volt.

Jika OC1 „ON" maka Q1 akan OFF sehingga Q1 tidak melakukan clamp pada SCR. SCR akan aktif jika Q2 juga dalam kondisi OFF. Kondisi ini terjadi pada saat terjadinya zero crossing. Penambahan kapasitor C2 bertujuan untuk menghindari kemungkinan SCR di trigger berulang-ulang. C1 berguna untuk menyediakan arus yang cukup untuk sumber tegangan sementara pada saat terjadinya *„firing"* pada gate SCR, selain itu C1 juga berfungsi untuk menghindari kondisi ditriggernya gate SCR berulang-ulang.

Penambahan C1 dan C2 akan menghindari trigger SCR pada saat tegangan anode SCR turun (*down slope*), kondisi ini memang tidak diharapkan. Komponen D2 akan memperbolehkan gate SCR di-reverse bias untuk menghasilkan kekebalan terhadap noise. D1 berfungsi untuk melindungi tegangan input yang berlebihan di atas rating tegangan optocoupler OC1. Komponen SCR yang digunakan, jika ingin membangun sebuah SSR sendiri, adalah SCR dengan tipe 2N5064, 2N6240.

TRIAC yang digunakan adalah 2N6343 dengan C11 sebesar 47nF dengan tegangan disesuaikan dengan rating tegangan aplikasi TRIAC dan diode yang mentrigger gate TRIAC ini harus 1N4004.

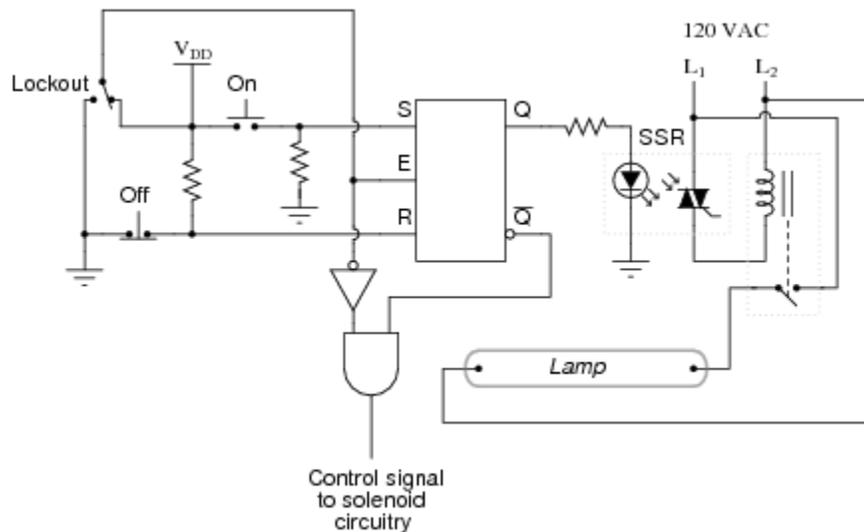
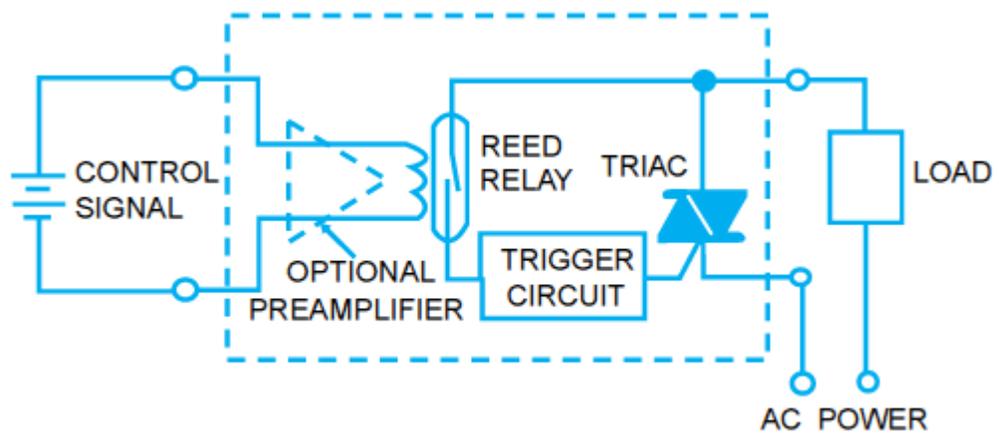
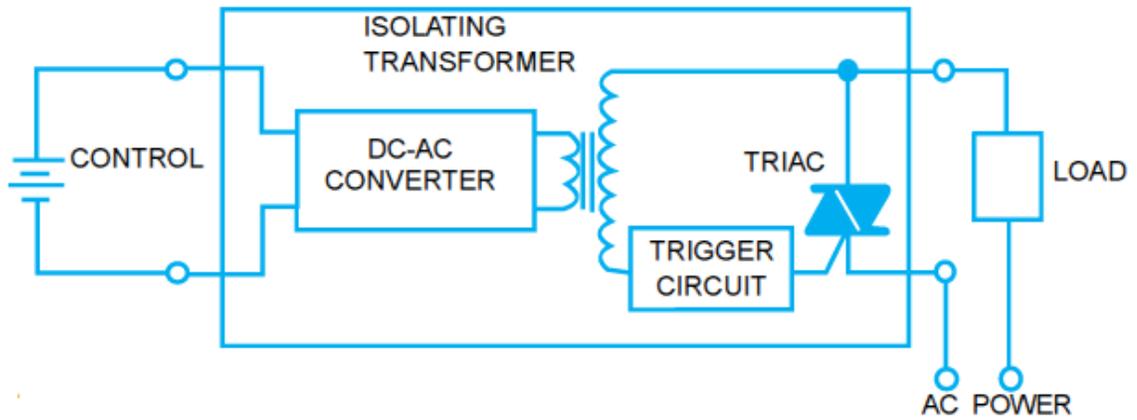
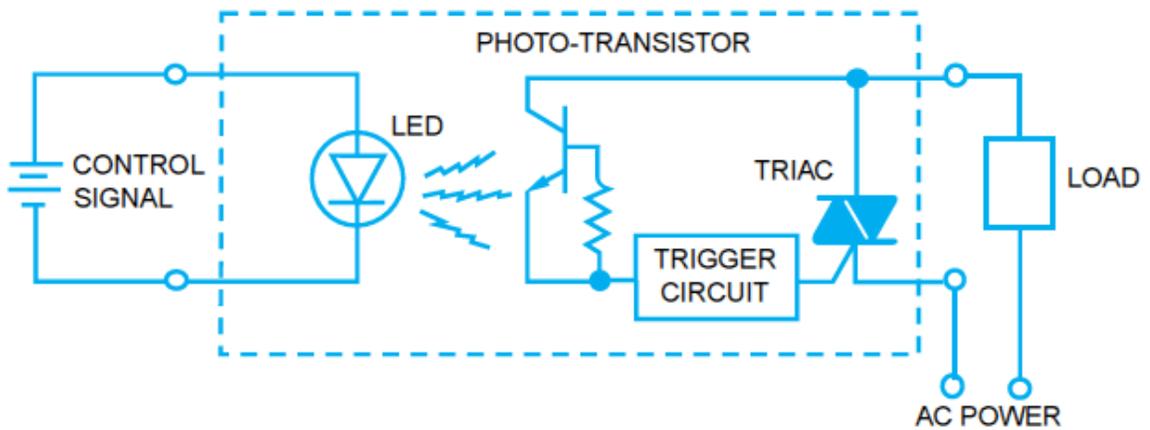
TRIAC merupakan komponen yang terdiri dari 2 buah SCR yang terpasang paralel tetapi terbalik. Kondisi ini menyebabkan timbulnya masalah pada beban induktif yaitu pada saat kondisi turn-off TRIAC. TRIAC harus mati pada saat setiap ½ cycle yaitu pada saat tegangan jala-jala PLN mendekati nol volt. TRIAC harus melakukan bloking tegangan pada saat tegangan mulai mencapai 1-2 volt dalam keadaan tegangan inverse. Kejadian ini terjadi sekitar 30us pada rate frekuensi jala-jala 60Hz. Pada beban induktif TRIAC tidak sempat dalam kondisi benar-benar OFF untuk dapat ditrigger kembali. Kejadian ini akan menyebabkan TRIAC pada beban induktif tertentu akan menyebabkan TRAIC tidak dapat OFF dan kontrol tidak akan berfungsi untuk mengontrol TRIAC ini kecuali dengan jalan memutuskan aliran arus yang menuju terminal TRAIC ini secara manual.

Untuk menghindari kejadian seperti ini maka output sebuah solid-state relay harus ditambahkan sebuah rangkaian snubber jika solid-state relay ini digunakan untuk beban yang bersifat induktif.

Walaupun demikian dapat digunakan solid-state relay yang komponen output unitnya berupa SCR. SCR lebih mudah digunakan dalam mengontrol beban induktif, walaupun demikian untuk amannya sebuah sistem kontrol maka perlulah dipertimbangkan untuk diberikannya sebuah rangkaian snubber pula untuk beban induktif.

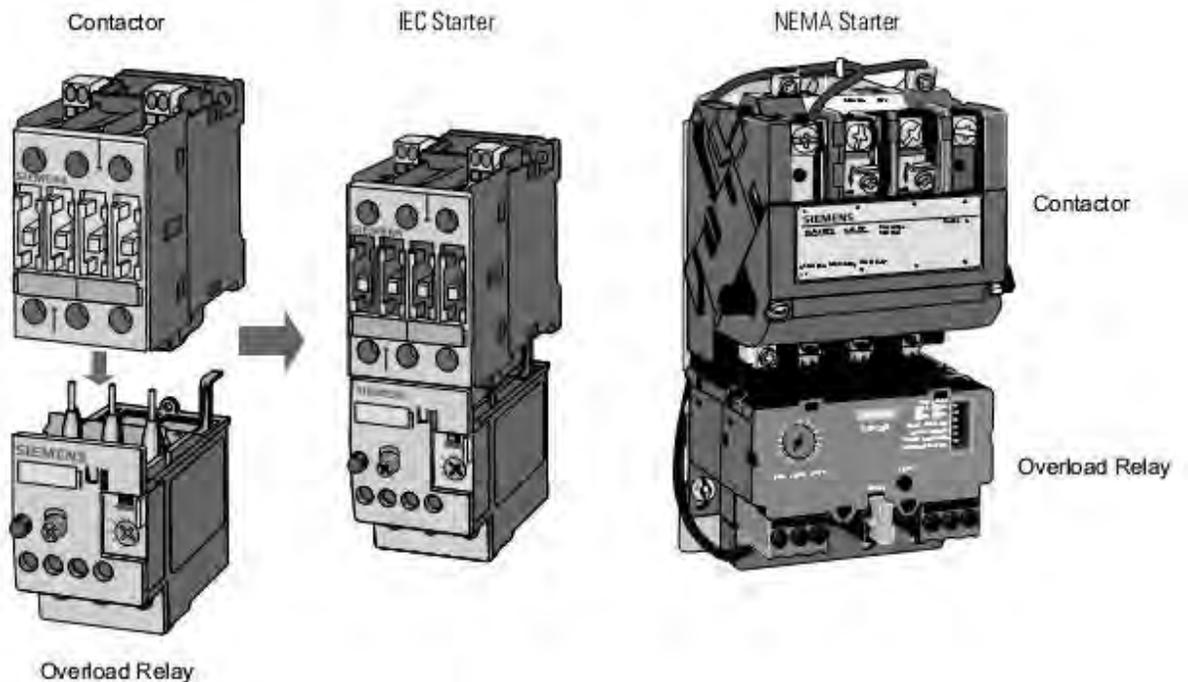
Walaupun solid-state relay dengan SCR maupun TRAIC- nya yang membuat perlunya sedikit pertimbangan dalam pemberian rangkaian snubber pada beban induktif, solid-state relay secara umum lebih baik pada penggunaanya terutama untuk aplikasi yang membutuhkan isolasi antara input dan output yang baik. Memang harga bolehlah mahal tetapi untuk kualitas yang baik maka komponen ini bisa menjadi sebuah alternatif untuk menggantikan sebuah relay mekanik pada aplikasi-aplikasi tertentu.

Tugas 2.

Perhatikan rangkaian berikut, jelaskan prinsip kerja SSR pada rangkaian ini.

Gambar 1. 5 Rangkaian dengan lampu

Gambar 1. 6 Hybrid SSR

Gambar 1. 7 Transformer Coupled SSR

Gambar 1. 8 *Photo Coupled* SSR

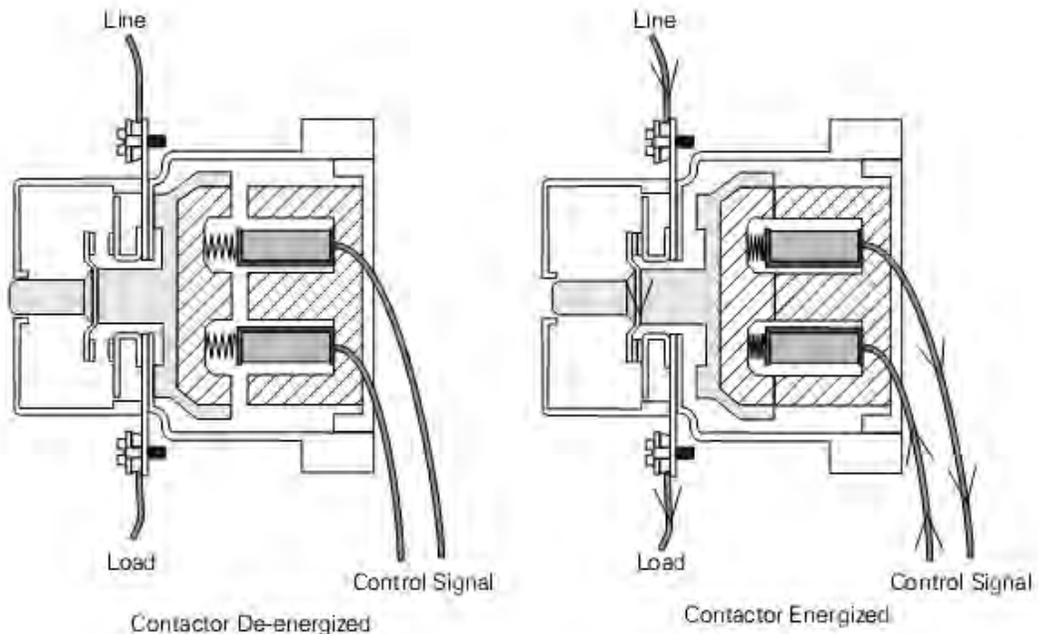
4. Kontaktor Magnet (*Magnetic Contactor*)

Kontaktor magnet atau sakelar magnet adalah sakelar yang bekerja berdasarkan kemagnetan, artinya saklar ini dapat bekerja apabila ada gaya kemagnetan. Magnet berfungsi sebagai penarik dan pelepas kontak-kontak.

Sebuah kontaktor harus mampu mengalirkan dan memutuskan arus listrik dalam keadaan normal. Arus listrik yang mengalir secara normal adalah arus listrik yang mengalir selama pemutusan tidak terjadi. Kumparan magnet kontaktor (*coil*) dapat dirancang untuk arus searah (DC) atau arus bolak-balik (AC). Kontaktor AC pada inti magnetnya dipasang cincin hubung singkat untuk menjaga arus kemagnetan tetap stabil, sehingga kontaktor tersebut bekerja normal. Sedangkan pada kumparan magnet DC tidak dipasang cincin hubung singkat. Bila kontaktor DC digunakan pada tegangan bolak-balik (AC) maka kemagnetannya akan timbul dan hilang setiap saat mengikuti bentuk gelombang tegangan bolak-balik (AC).

Gambar 1. 9 Kontaktor magnet

Bila kontaktor yang rancang untuk tegangan bolak-balik (AC) digunakan pada tegangan searah (DC), maka pada kumparan tersebut tidak akan menimbulkan induksi sehingga kumparan menjadi panas. Sebaliknya bila kontaktor untuk untuk tegangan searah (DC) yang tidak mempunyai cincin hubung singkat dihubungkan dengan tegangan bolak-balik (AC) maka kontaktor tersebut akan bergetar yang disebabkan oleh kemagnetan pada kumparan magnet yang timbul dan hilang setiap detik 100 kali.

Biasanya pada kontaktor terdapat beberapa kontak, yaitu kontak normal terbuka (*normaly open/ NO*) dan kontak normal tertutup (*normaly close/ NC*). Kontak NO berarti saat kontaktor belum bekerja kedudukannya membuka dan bila kontaktor bekerja kedudukan kontaknya menutup/menghubung. Jadi fungsi kontak NO dan NC berlawan.

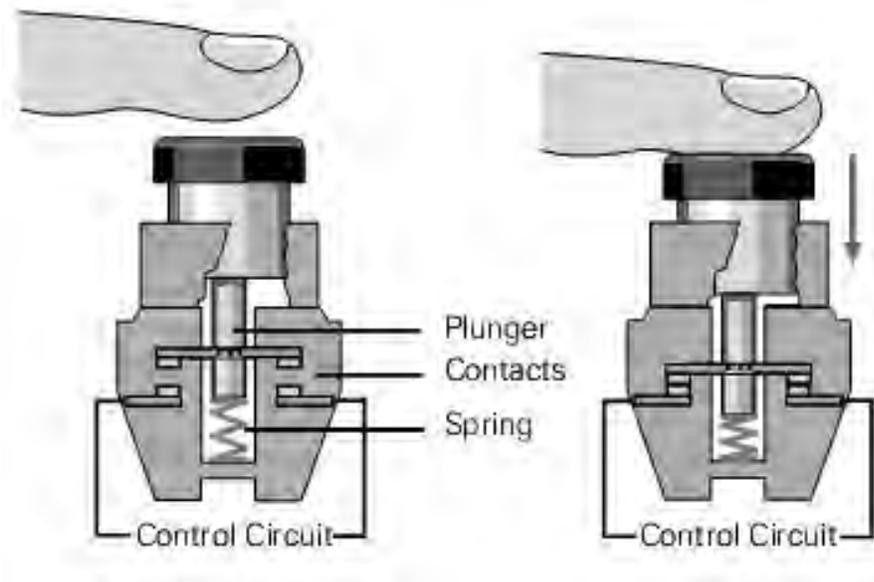
Fungsi kontak-kontak tersebut terdiri dari kontak utama dan kontak bantu. Kontak utama terdiri dari kontak NO dan kontak bantu terdiri dari kontak NO dan NC. Kontruksi dari kontak utama berbeda dengan kontak bantu, dimana kontak utama mempunyai luas permukaan yang luas dan tebal. Sedangkan kontak bantu luas permukaannya kecil dan tipis,

Gambar 1. 10 Kontak-kontak pada kontaktor magnet

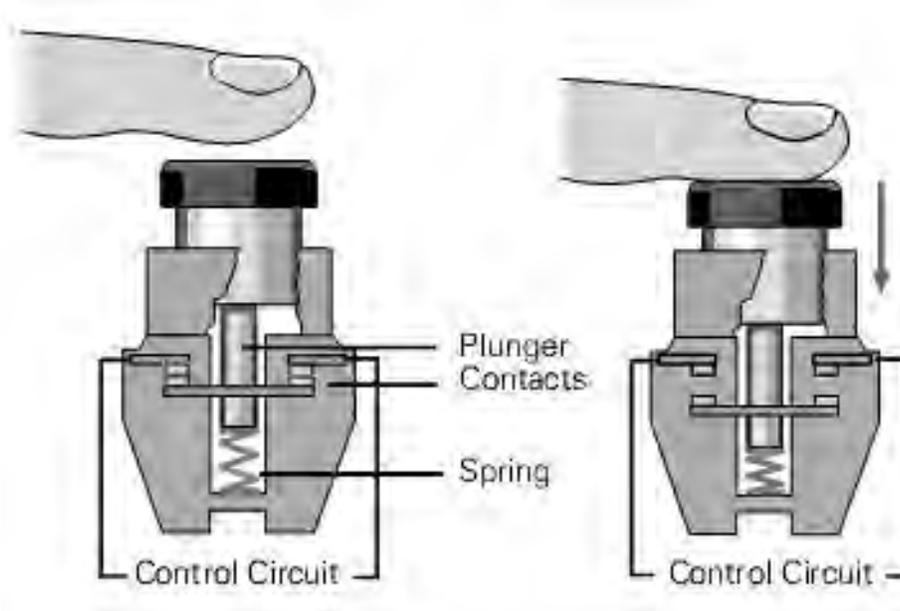
Kontak utama digunakan untuk mengalirkan arus pada rangkaian utama,yaitu arus yang diperlukan untuk peralatan listrik misalnya : motor listrik, pesawat pemenas dan sebagainya. Sedangkan kontak bantu digunakan untuk mengalirkan arus pada rangkaian pengendali (kontrol) yang diperlukan untuk kumparan magnet, alat bantu rangkaian, lampu indikator, dan sebagainya. Katagori penggunakan kontaktor magnet sebagai berikut :

Kategori	Uraian Katagori menurut IEC
AC1	Non Induktif atau beban induktif ringan
AC2	Starting Motor slip-ring
AC3	Starting Motor Induksi Rotor Sangkar dan hanya pensaklaran setelah kecepatan motor naik
AC4	Starting Motor Induksi Rotor Sangkar dengan pengendali inching dan plugging. Rangkaian Start/Stop
AC11	Rangkaian Kontrol (Auxiliary)

Penggunaan kontaktor harus dipahami rangkaian pengendali (kontrol) dan rangkaian daya (utama). Rangkaian pengendali adalah rangkaian yang hanya menggambarkan bekerjanya kontaktor dengan kontak-kontak bantu. Sedangkan rangkaian utama adalah rangkaian yang khusus melayani hubungan peralatan listrik dengan sumber tegangan (jala-jala).

5. Tombol tekan (push button)

Tombol tekan masih banyak sekali dipakai untuk menggontrol motor. Tombol yang normal direncanakan untuk berbagai jenis yang mempunyai kontak normal tertutup (*Normaly Close/ NC*) atau kontak normal terbuka (*Normaly Open/ NO*).

Gambar 1. 11 Kontruksi tombol tekan NO

Kontak NO akan menutup, jika tombol diteka dan kontak NC akan membuka bila tombol ditekan. Tombol tekan NO digunakan untuk start sedangkan tombol tekan NC digunakan untuk stop.

Gambar 1. 12 Kontruksi tombol tekan NC

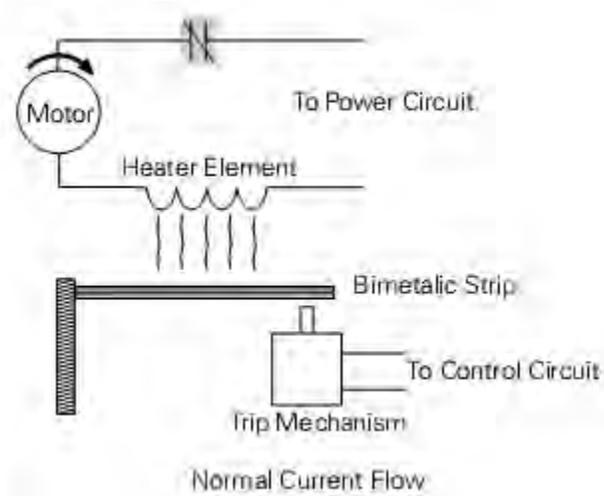
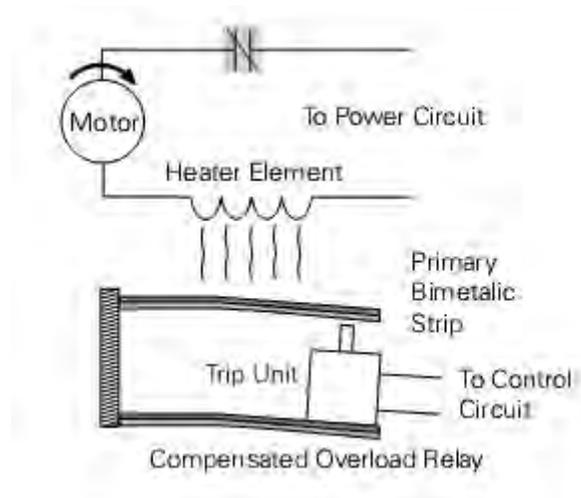
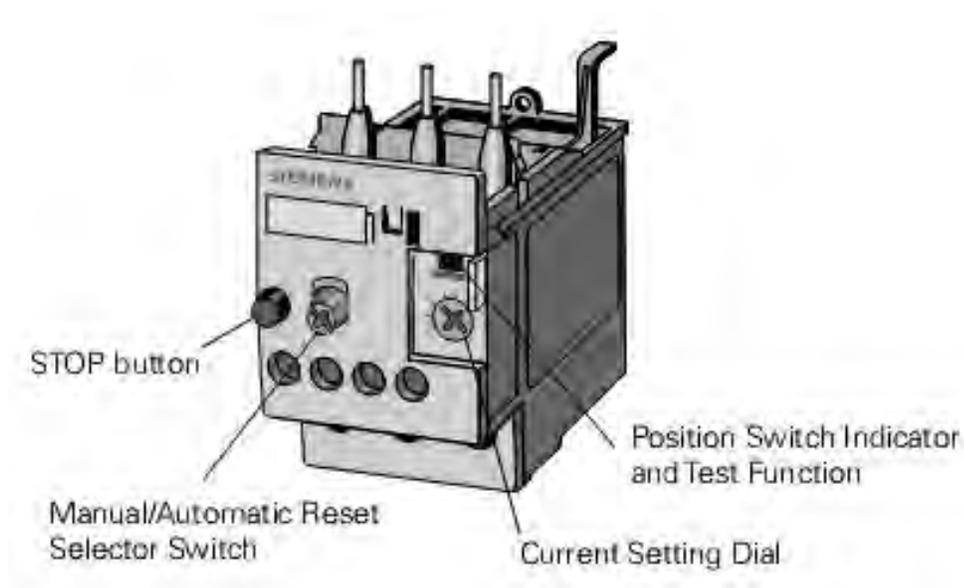
6. Thermal Over Load Relay (TOR/TOL).

Alat pengaman yang digunakan bila pada motor terjadi beban lebih disebut *Thermal Over Load Relay (TOR/TOL)* biasanya digandengkan dengan kontaktor, dipasaran ada juga pengaman beban lebih yang terintegrasi pada *Motor Circuit Breaker*. Relay ini biasanya dihubungkan pada kontaktor ke kontak utama 2, 4, dan 6 sebelum dihubungkan ke beban (motor). Gunanya untuk memberikan perlindungan terhadap motor dari kerusakan akibat beban lebih.

Beberapa penyebab terjadinya beban lebih adalah :

- Terlalu besarnya beban mekanik pada motor.
- Arus start yang terlalu besar atau motor berhenti secara mendadak.
- Terbukanya salah satu fasa dari motor 3 fasa.

Arus yang terlalu besar timbul pada beban motor akan mengalir pada belitan motor yang dapat menyebabkan kerusakan dan terbakarnya belitan motor. Untuk menghindari hal tersebut terjadi dipasang *Thermal Over Load Relay (TOR/TOL)* pada rangkaian pengendali.

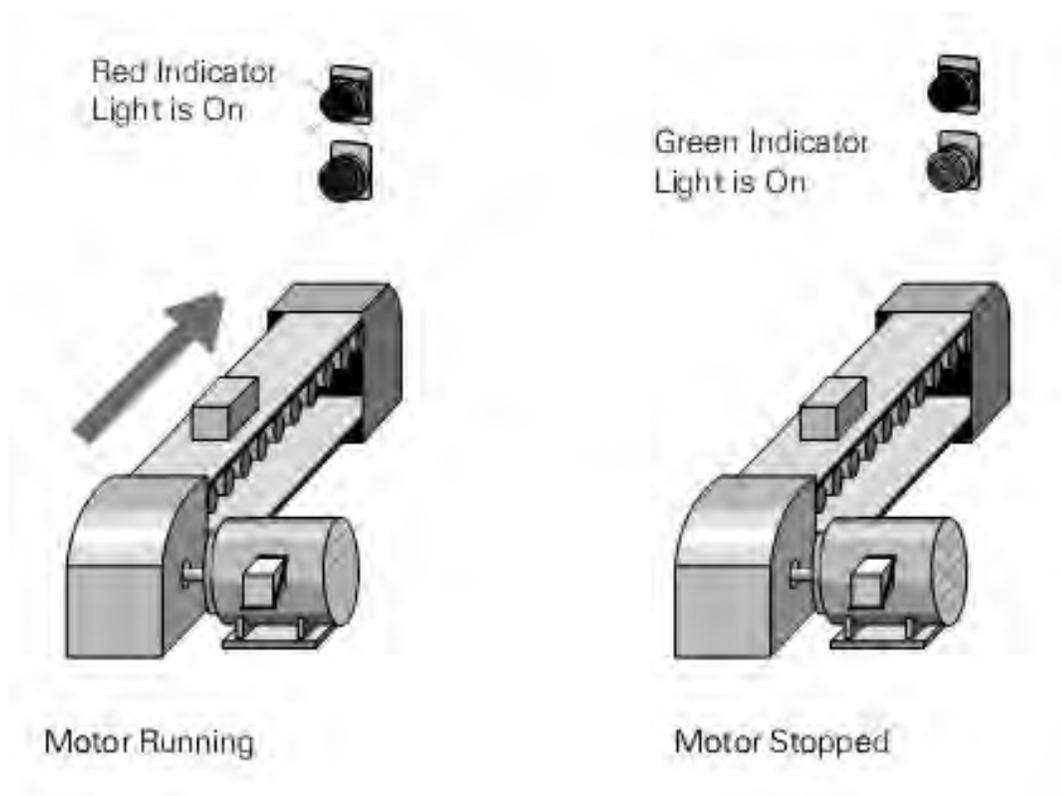
Prinsip kerja *Thermal Over Load Relay (TOR/TOL)* berdasarkan panas (temperatur) yang ditimbulkan oleh arus yeng mengalir melalui elemen-elemen pemanas bimetal, yang menakibatkan bimetal melengkung selanjutnya akan menggerakan kontak-kontak mekanik pemutus rangkaian listrik kontak 95 – 96 membuka dan kontak 97 – 98 menutup.

Gambar 1. 13 TOR dalam keadaan normal

Gambar 1. 14 TOR dalam keadaan beban lebih

Gambar 1. 15 Kontruksi *Thermal Over Load Relay (TOR/TOL)*

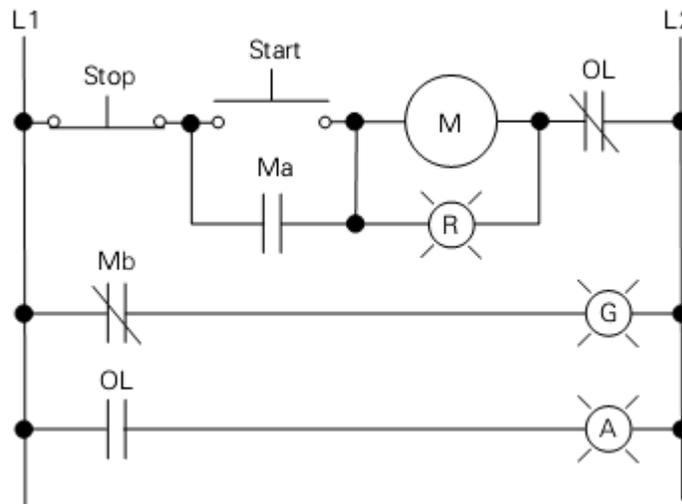
Perlengkapan lain dari thermal beban lebih adalah reset mekanik yang fungsinya untuk mengembalikan kedudukan kontak 95 – 96 pada posisi semula (menghubung dalam keadaan normal) dan kontak 97 – 98 (membuka dalam keadaan normal). Setelah tombol reset ditekan maka kontak 95 – 96 yang semula membuka akibat beban lebih akan kembali menutup dan kontak 97 – 98 akan kembali membuka. Bagian lain dari thermal beban lebih adalah pengatur batas arus.

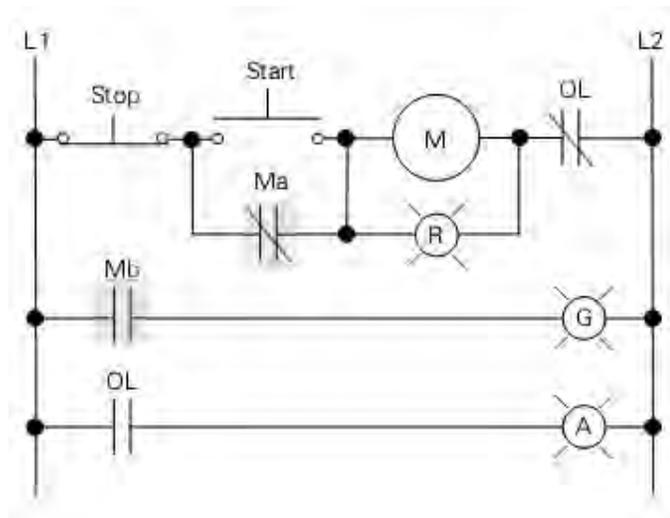
a. Lampu Indikator

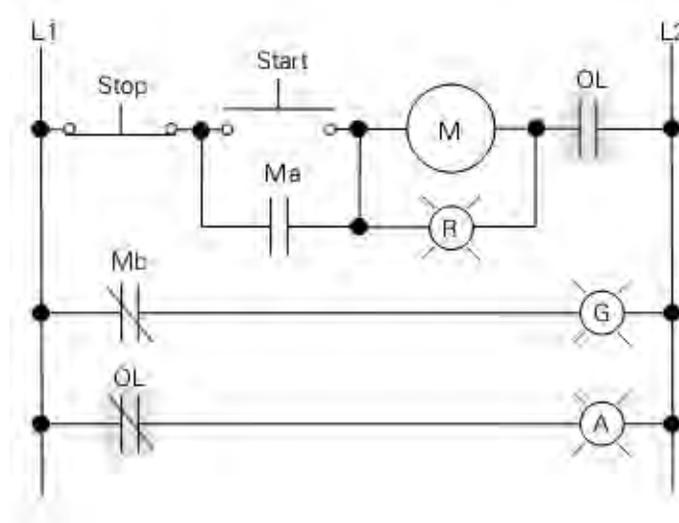
Lampu-lampu indikator merupakan komponen yang digunakan sebagai lampu tanda. Lampu-lampu tersebut digunakan untuk berbagai keperluan misalnya untuk lampu indikator pada panel penunjuk fasa R, S dan T atau L1, L2 dan L3.

Selain itu juga lampu indikator digunakan sebagai indikasi bekerjanya suatu sistem kontrol misalnya lampu indikator merah menyala motor bekerja dan lampu indikator hijau menyala motor berhenti.

Gambar 1. 16 Kontruksi lampu indikator

Gambar 1. 17 Penggunaan lampu indikator

Menurut gambar rangkaian berikut ini, jika motor di stop, kontak *normaly close* kontaktor Mb tertutup, dan lampu indikator warna hijau menyala.

Gambar 1. 18 Penggununan lampu indikator pada rangkaian kontrol

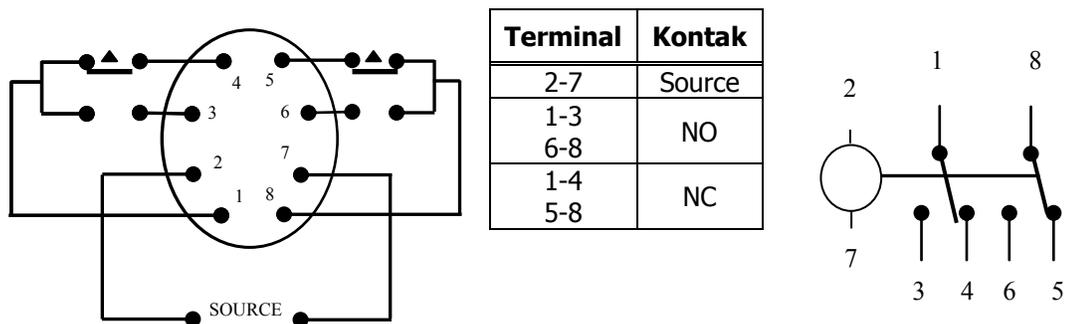
Jika kumparan kontaktor *energize*, lampu indikator merah menyala mengindikasikan bahwa motor jalan (berputar). Dalam kondisi ini, kontak Mb menjadi terbuka, dan lampu indikator hijau padam. Lampu indikator merah dihubungkan paralel dengan kumparan kontaktor sehingga motor akan berputar terus jika lampu indikator tersebut terbakar.

Gambar 1. 19 Kumparan kontaktor *energize*

Jika terjadi beban lebih, kontak *normaly close* OL terbuka, motor berhenti dan lampu indikator merah menyala, kontak Mb terbuka, lampu indikator hijau menyala dan kontak *normaly open* OL tertutup, lampu indikator kuning (A) menyala.

Gambar 1. 20 Saat terjadi beban lebih (*over load*)

b. Relay penunda waktu (*Time Delay Relay*)

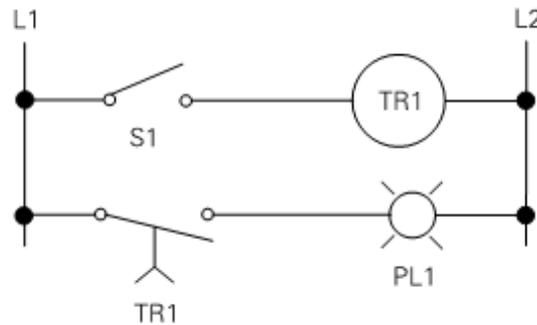
Time Delay adalah saklar penunda waktu yang digunakan sebagai alat bantu sistim pengendali. Terminal sumber tegangan terdapat pada nomor 2-7, Kontak NO pada terminal 1-3 dan 6-8 dan kontak NC terdapat pada terminal 1-4 dan 5-8.

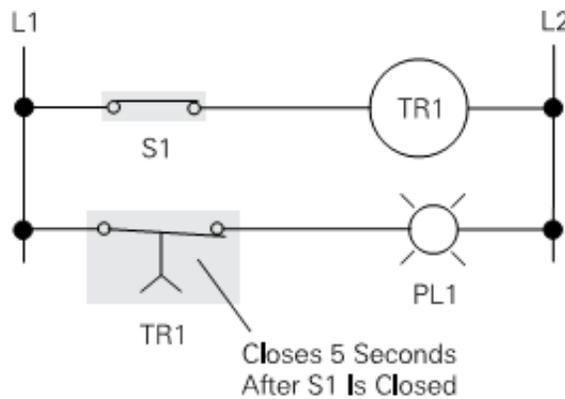
a. Kedudukan soket

Terminal	Kontak
2-7	Source
1-3 6-8	NO
1-4 5-8	NC

b. Hubungan terminal

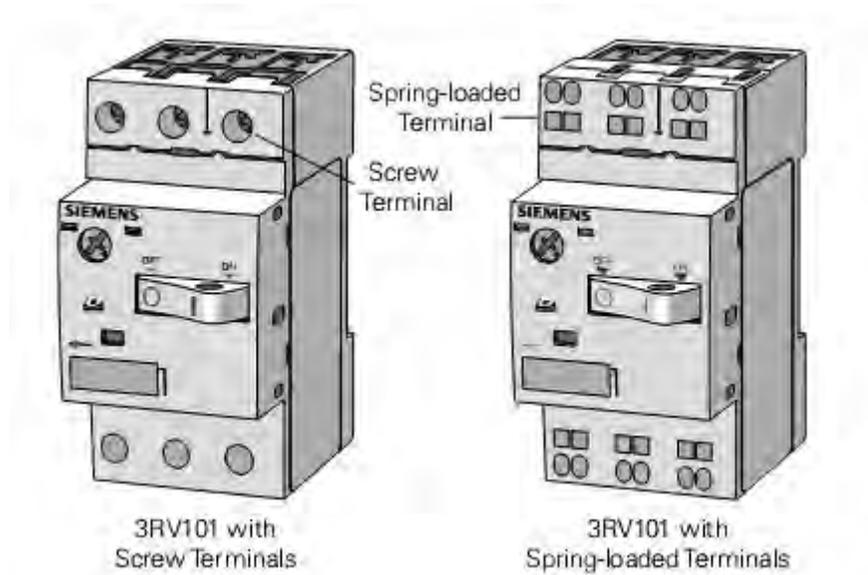
c. Simbol Time delay

Gambar 1. 21 *Time Delay Relay*

Kebanyakan dari relay penunda waktu yang mempunyai batas pengesetan waktu bervariasi. Contoh, relay penunda waktu memiliki pengesetan waktu dari 0,05 sampai 100 jam. Relay penunda waktu jenisnya ada dua *on-delay* atau *off-delay* yang dapat dihubungkan dengan beban, tergantung bagaimana keluaran dari pengawatan rangkaian. Pada ilustrasi yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini, sebagai contoh *on-delay* atau *closed timer*, juga disebut relay penunda waktu *normally open, time closed (NOTC)*. Pada contoh ini relay penunda waktu diset untuk menunda waktu 5 detik.

Gambar 1. 22 Relay penunda waktu *on-delay*

Jika S1 tertutup, relay penunda waktu mulai bekerja atau *energizes* (menghitung waktu). Setelah 5 detik, kotak dari relay tersebut tertutup, dan lampu indikator menyala. Jika S1 terbuka, relay penunda waktu tidak bekerja atau *de-energizes*, kotak dari relay tersebut secara bersamaan terbuka, sehingga lampu indikator padam.

Gambar 1. 23 Relay penunda waktu *on-delay* setelah 5 detik

c. Motor Circuit Breaker

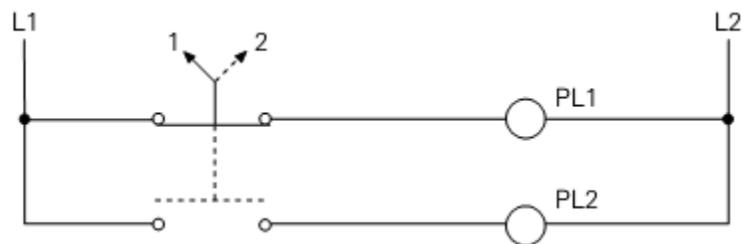
Motor Circuit Breaker adalah pengaman motor listrik yang mengintegrasikan pengaman hubung singkat dan beban lebih.

Gambar 1. 24 Kontruksi *Motor Circuit Breaker*

d. Sakelar selektor

Sakelar selektor juga digunakan secara manual mempunyai kontak tertutupdan terbuka. Sakelar selektor dapat dioperasikan dengan per pengembali dan kunci tersedia dua, tiga atau empat jenis posisi.

Perbedaan yang mendasar antara tombol tekan dan sakelar selektor adalah dioperasikan secara mekanik. Dengan sakelar selektor operator dapat memutarkan menjadi kontak terbuka dan tertutup. Sakelar selektor digunakan untuk memilih satu dari dua atau lebih rangkaian yang memungkinkan. Contoh berhenti dan jalan atau berhenti, kecepatan rendah dan kecepatan tinggi.

Gambar 1. 25 Kontruksi saklar selektor

Pada contoh berikut, lampu pilot PL1 akan menyala jika saklar pada posisi 1, dan lampu pilot PL2 akan menyala pada posisi 2. Ini hanya bagian dari rangkaian kontrol untuk permesinan dan status lampu pilot dapat digunakan untuk mengindikasikan kondisi mesin, contoh berhenti (*stop*) dan jalan (*run*).

Gambar 1. 26 Saklar selektor dua posisi

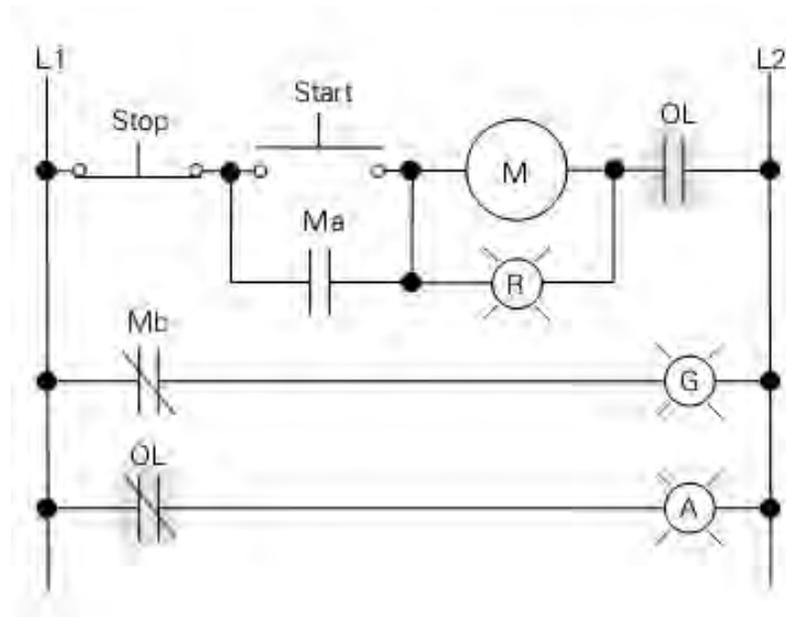
B. Evaluasi

1. Jelaskan prinsip kerja kontaktor magnet dan bagaimana membedakan kontak-kontak yang akan digunakan untuk rangkaian daya dan pengendali ?

2. Jelaskan perbedaan antara kontak NO dan Kontak NC tombol tekan (push botton) ?

3. Jelaskan prinsip kerja rele penunda waktu (TDR) “ON-DELAY” dan gambarkan rangkaian diagramnya ?

4. Jelaskan fungsi dan prinsip kerja *Thermal Overload Relay* (TOR/TOL) ?

5. Perhatikan gambar rangkaian pengendali dibawah ini, Jelaskan kondisi lampu indikator R, G dan A pada saat tombol tekan “Start” ditekan ?

Kegiatan Belajar 2

Pengendali Motor Listrik

Indikator Keberhasilan:

Setelah menyelesaikan kegiatan belajar ini , diharapkan siswa dapat :

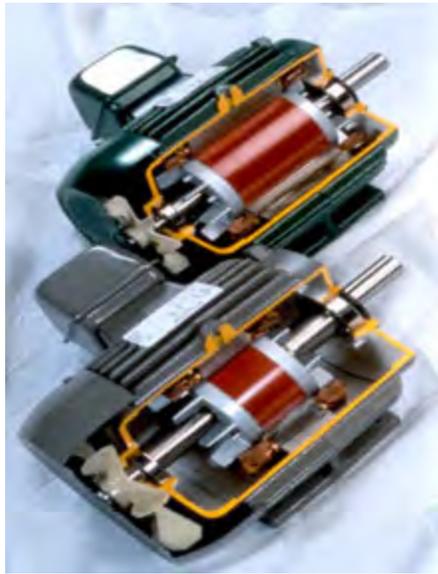
- Menyebutkan kontruksi motor listrik
- Menyebutkan cara pengoperasian motor listrik
- Membuat rangkaian kontrol magnetik sederhana

A. Uraian Materi

1. Kontruksi Motor Listrik

Tahukah kalian apa yang disebut Motor listrik ? Dan bagaimana bentuk serta konstruksi dari sebuah motor listrik ? Untuk mengetahuinya marilah kita cermati langkah-langkah pembelajaran berikut ini.

Motor listrik merupakan sebuah perangkat elektromagnetik yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini digunakan untuk, misalnya, konveyor, memutar *impeller*pompa, fan atau *blower*, menggerakan kompresor, mengangkat bahan, dan lain-lain. Selain di industri dan motor juga digunakan pada peralatan listrik rumah tangga (seperti: *mixer*, bor listrik, kipas angin). Motor listrik kadangkala disebut “kuda kerja” nya industri, sebab diperkirakan bahwa motor-motor menggunakan/menyerap sekitar 70% beban listrik total di industri.

Melalui gambar di bawah ini dapat kita amati kontruksi dari motor induksi :

Gambar 2. 1 Kontruksi motor induksi

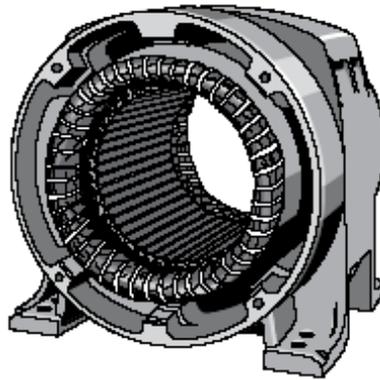
Kalau kita uraikan bagian-bagian dari kontruksi motor induksi tersebut adalah sebagai berikut :
pada dasarnya konstruksi motor induksi terdiri dari tiga bagian, yaitu stator, rotor dan tutup samping (*end plate*).

A. Stator

Stator adalah bagian yang tidak bergerak atau bagian yang statis. Stator terdiri dari dua bagian yaitu:

- Rumah Motor atau Yoke dan
- Kumparan Jangkar

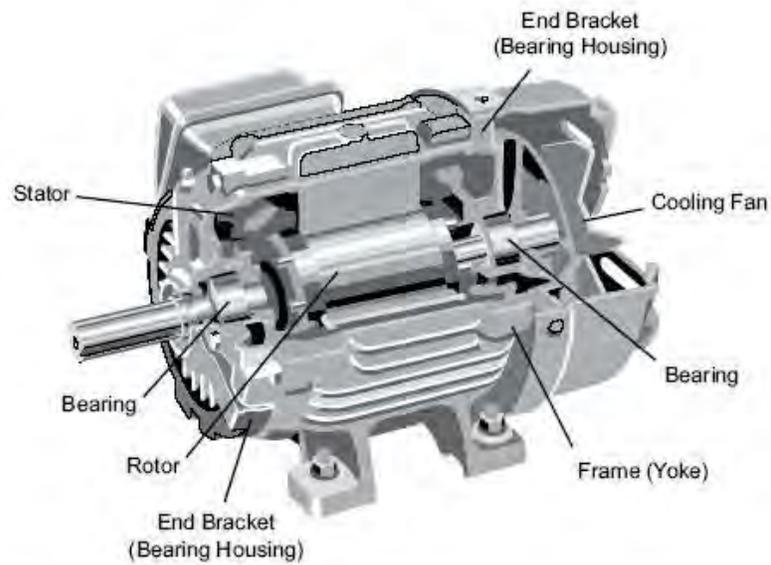
Rumah Motor atau Yoke

Melalui gambar di bawah ini dapat kita amati penampang melintang dari sebuah rumah motor :

Gambar 2. 2 Contoh penampang melintang rumah motor

Rumah motor (yoke) terbuat dari besi baja lunak yang berlapis-lapis dengan ketebalan 2-3 milimeter agar menngurangi terjadinya arus pusar (*eddy current*).

Fungsi inti besi (*iron core*) untuk jalan arus magnet, dibuat dari bahan yang mempunyai hambatan magnet (*reluntance*) yang rendah. Di sekeliling bagian dalamnya dibuat alur-alur (slot), tempat meletakan ketiga kumparan jangkar (kumparan *armature*).

Kumparan Jangkar (*armature winding*)

Melalui gambar di bawah ini dapat kita amati penampang dari sebuah kumparan jangkar :

Gambar 2. 3 Penampang kumparan jangkar

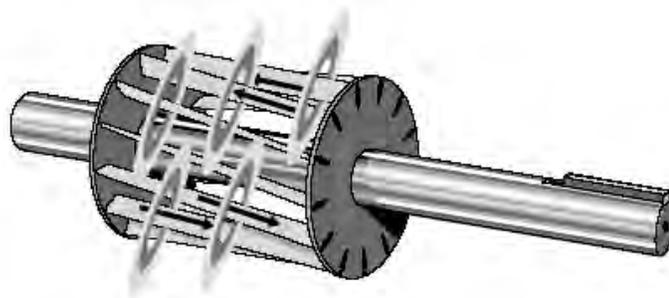
Kumparan armature adalah kumparan yang digunakan untuk mengubah arus listrik menjadi medan magnet putar (*rotating magnetic field*).

B. Rotor

Rotor adalah bagian motor yang bergerak, berguna untuk merubah daya listrik induksi menjadi daya mekanik (berupa putaran).

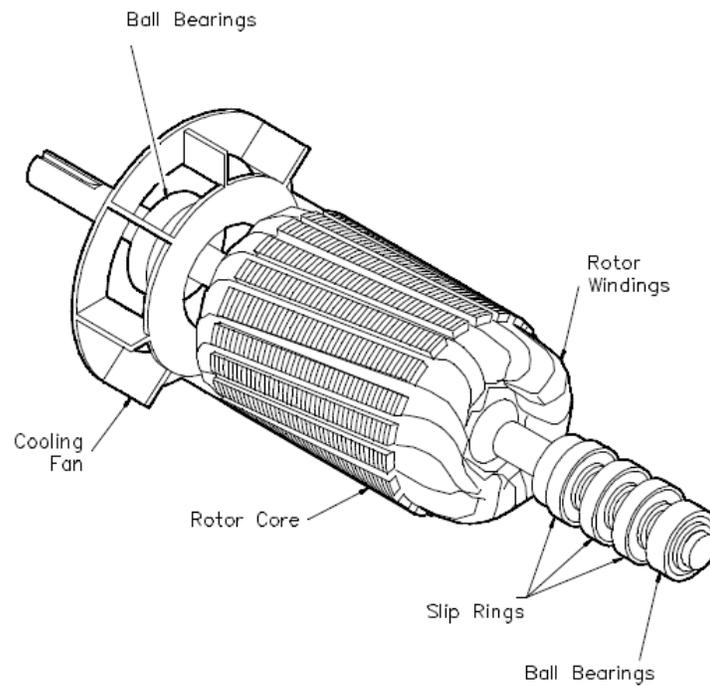
Rotor Sangkar (*Squirel Cage*)

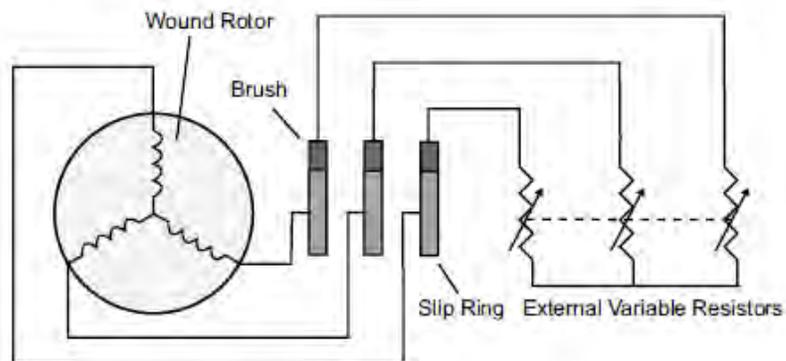
Melalui gambar di bawah ini dapat kita amati gambar penampang dari sebuah rotor sangkar :

Gambar 2. 4(a) Rotor sangkar

Gambar 2. 4(b) Rotor sangkar susunan konduktor serong

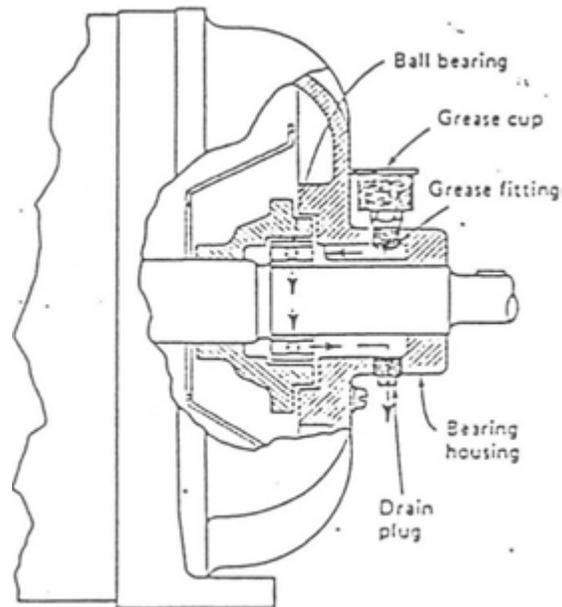
Rotor Belit

Rotor belit digunakan pada motor yang memerlukan pengontrolan kecepataan putaran untuk mendapatkan torsi starting yang tinggi.

Melalui gambar di bawah ini dapat kita amati penampang dari sebuah rotor belit :

Gambar 2. 5 Konstruksi rotor belit

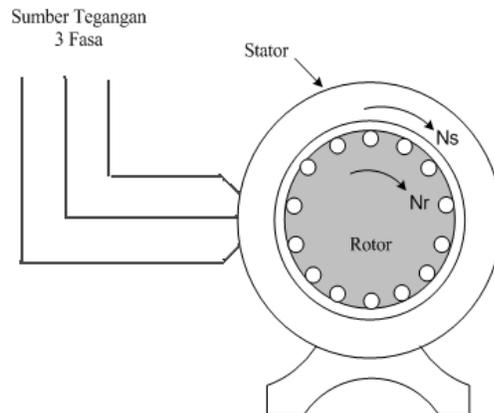
Melalui gambar di bawah ini dapat kita amati skema dari tahanan sebagai pengontrolan kecepataan putaran sebuah rotor belit :

Gambar 2. 6 Tahanan sebagai pengontrol putaran

C. Tutup samping (*End Plate*)

Melalui gambar di bawah ini dapat kita amati penampang dari tutup samping sebuah motor listrik :

Gambar 2. 7 Tutup samping (*End Plate*)

2. Cara Kerja Motor Listrik

Tahukah kalian bagaimana sebuah motor listrik bekerja ? Untuk mengetahuinya marilah kita cermati langkah-langkah pemnbelajaran di bawah ini.

Melalui gambar di bawah ini dapat kita amati penampang dan penyambungan dari sebuah motor listrik :

Gambar 2. 8 Penampang dan penyambungan dari sebuah motor listrik

Hubungan antara frekuensi sumber listrik, jumlah kutub magnet dan jumlah putaran dituliskan dengan rumus di bawah ini :

$$N_s = \frac{120\ f}{P}$$

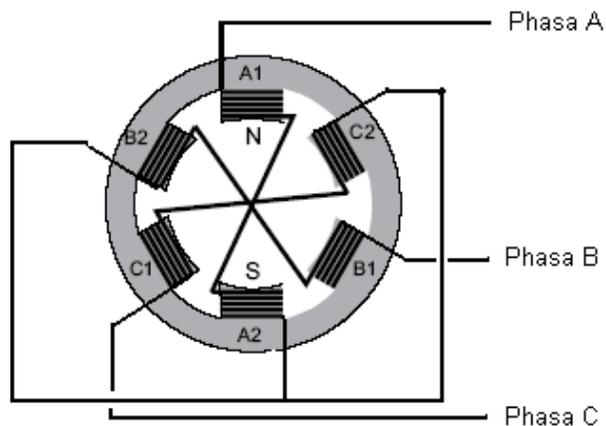
f = frekuensi sumber listrik
P = jumlah kutup magnet
N_s = putaran sinkron.

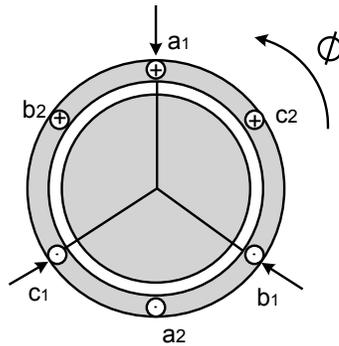
Dengan adanya medan magnet yang berputar mengelilingi rotor, maka pada kumparan rotor akan teriadi tegangan induksi (ggl).

Karena susunan kumparan rotor merupakan rangkaian tertutup, maka akan mengalir arus rotor (Ir). Dengan adanya arus rotor ini maka pada rotor akan timbul medan magnet listrik.

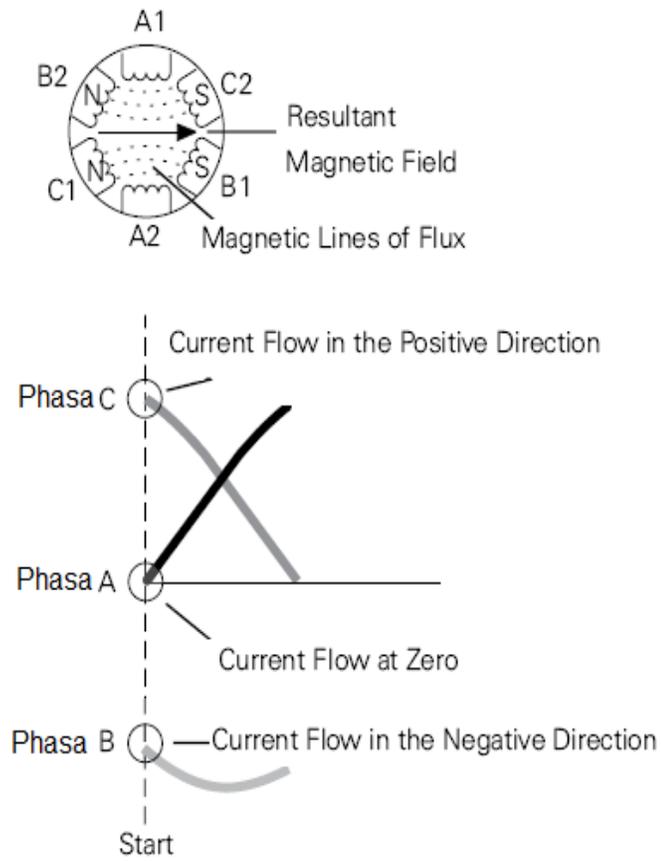
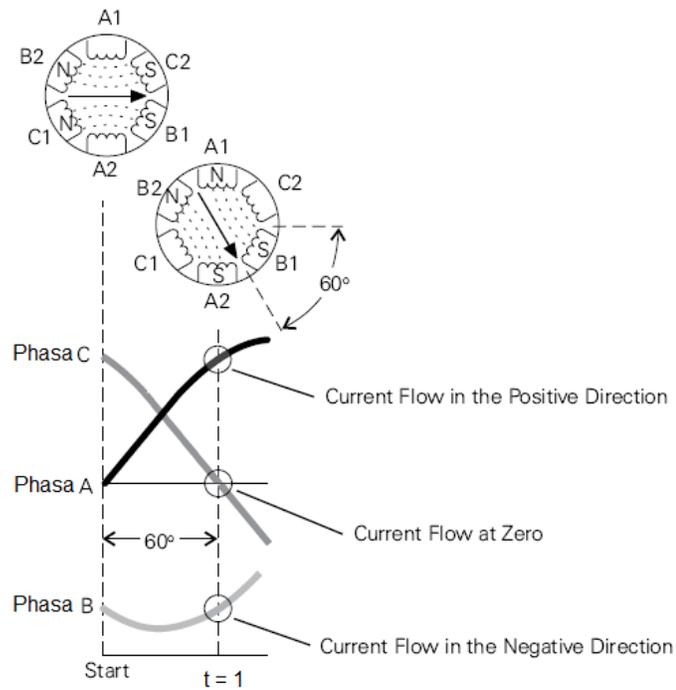
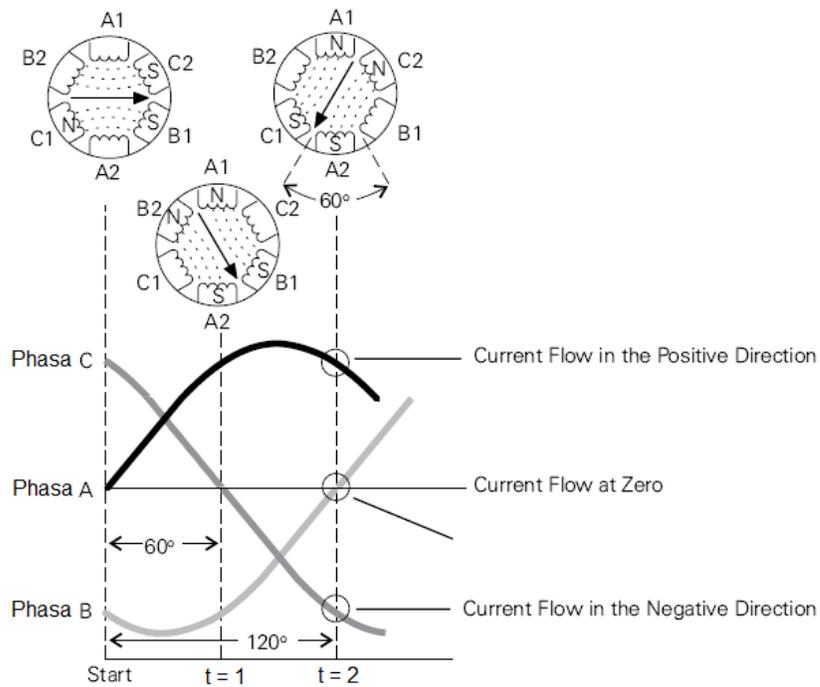
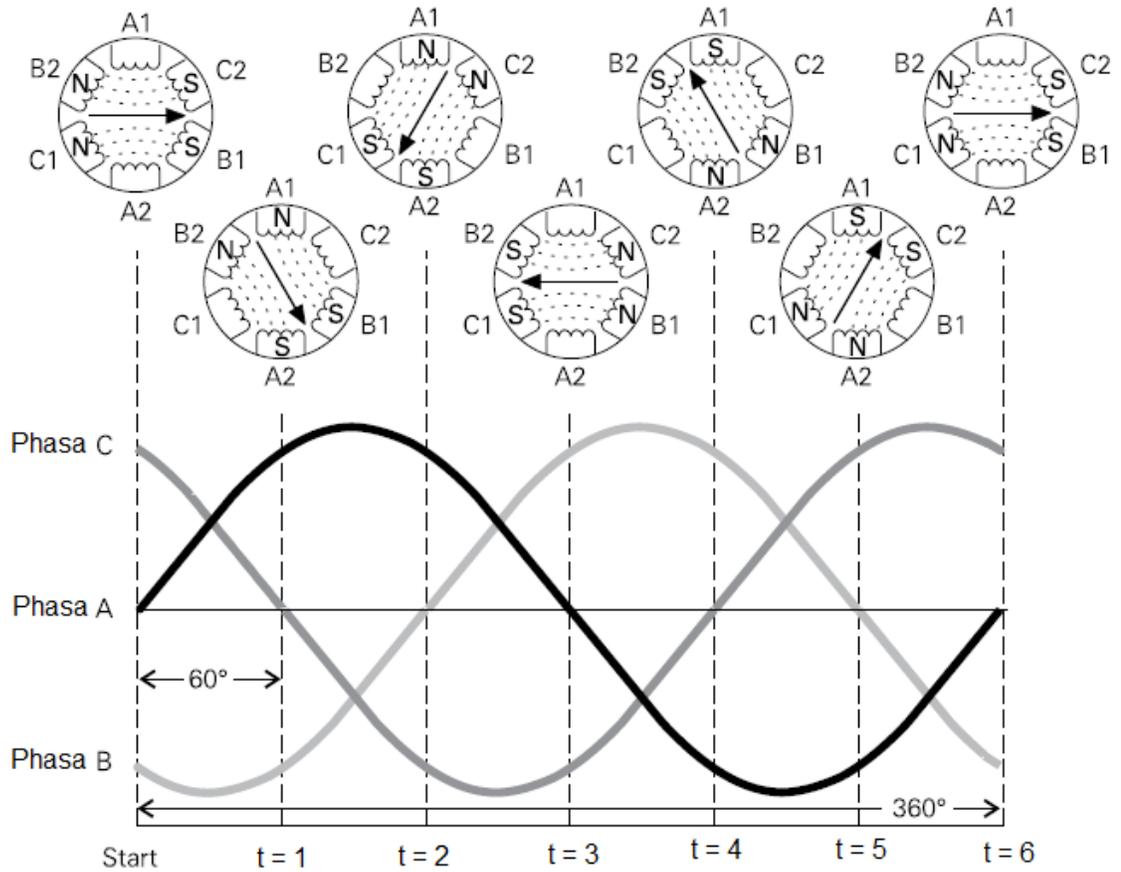
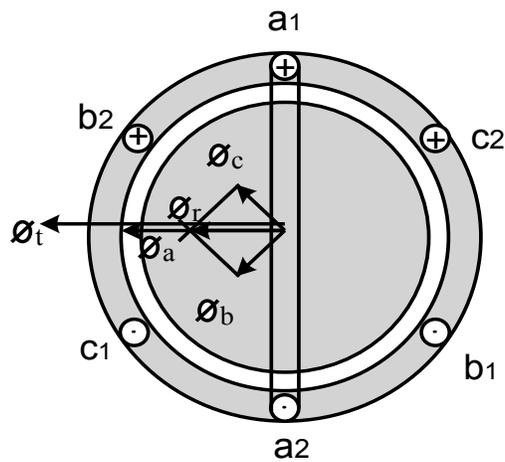
Ke dua medan magnet di stator dan di rotor akan saling bereaksi, menimbulkan gaya gerak (F).

Bila kopel mula beban mekanik yang dipikul oleh rotor lebih kecil dari gaya reaksi magnet (F) yang terjadi, maka rotor akan bergerak mengikuti arah putaran medan magnet dari stator.

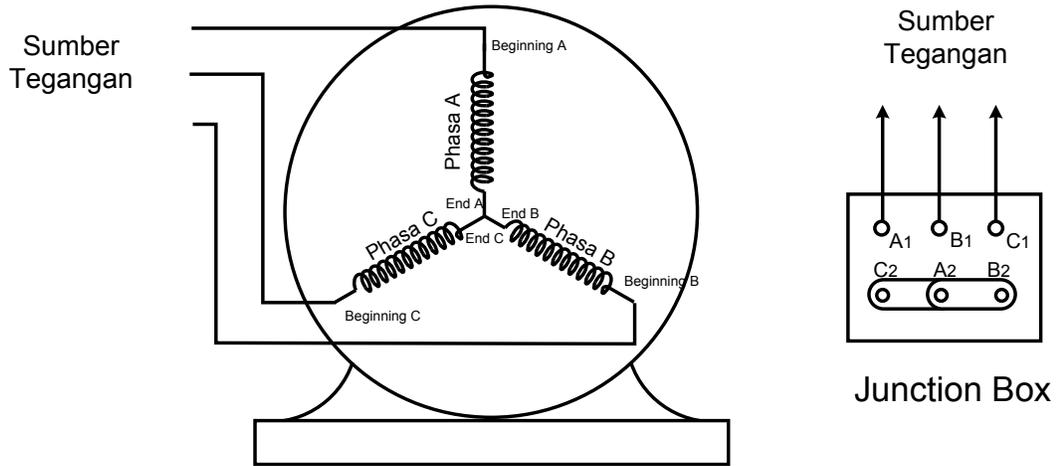
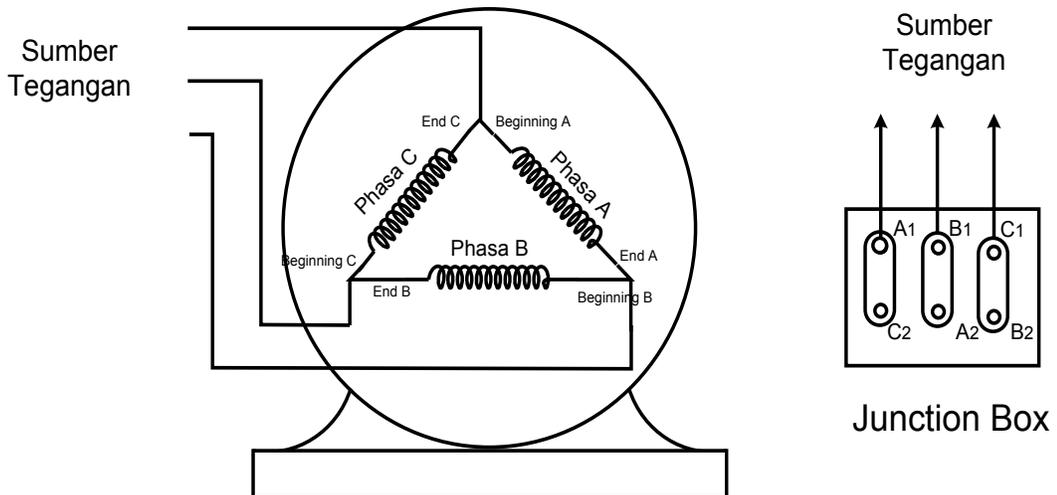
Proses terjadinya medan magnet putar dapat dijelaskan sebagai berikut. Perhatikan contoh sket motor induksi gambar1.1-9di bawah ini :

Gambar 2. 9 Contoh peletakan kumparan jangkar pada motor induksi tiga fasa

Melalui gambar di bawah ini dapat kita amati susunan kumparan stator dari sebuah motor listrik dan sumber 3 fasa :

Gambar 2. 10 Susunan kumparan stator dan sumber 3 fasa

Putaran medan magnet

Melalui gambar di bawah ini dapat kita amati putaran medan magnet awal, putaran medan magnet sampai dengan 60^0, putaran medan magnet sampai dengan 120^0, dan putaran medan magnet selama satu putaran dari sebuah motor listrik:

Gambar 2. 11 Putaran medan magnet awal

Gambar 2. 12 Putaran medan magnet sampai dengan 60^0

Gambar 2. 13 Putaran medan magnet sampai dengan 120^0

Gambar 2. 14 Putaran medan magnet selama satu putaran

Gambar 2. 15 Fluksi total saat fasa A maksimum

Cara penyambungan kumparan armature

Melalui gambar di bawah ini dapat kita amati sambungan bintang dan segitiga pada sebuah motor listrik :

Gambar 2. 16 Sambungan bintang (*star*)

Gambar 2. 17 Sambungan segitiga (*delta*)

Tugas 1.1

Carilah berapa besarnya putaran medan magnet yang mengelilingi rotor dari suatu motor induksi yang mempunyai jumlah kutub magnet 8, sedangkan frekuensi arus masuknya sebesar (a) 60 cps, (b). 50 cps dan (c). 25 cps.

Tugas 1.2

Hitunglah besarnya putaran sinkron mator induksi tiga buah memiliki frekuensi 60 cps dan jumlah kutub (a) 4 buah, (b) 6 buah dan (c) 10 buah.

Slip dan Putaran Rotor

$$\text{Slip dalam prosen } (S\ \%) = \frac{N_s - N_r}{N_s}\ x\ 100\ \ \%$$

$$S = \frac{N_s - N_r}{N_s}$$

$$S = \frac{\frac{120\ F}{P} - N_r}{\frac{120\ F}{P}}$$

$$Nr \ = \frac{120\ F}{P}(1 - S)$$

$$Nr \ = \ Ns\ (\ 1\text{-}S\ )$$

Tugas 1.3

Putaran rotor motor induksi 50 cps dengan jumlah kutub sebesar 6, sebesar 960 rpm, Hitunglah besarnya slip dalam prosen !

Tugas 1.4

Hitunglah putaran rotor dari suatu motor induksi yang memiliki jumlah kutub 14, frekuensi 60 cps dan slip (s) sebesar 0,05 ?

Tegangan Dan Frekuensi Pada Rotor

$$E_R = S \times E_{BR}$$
$$F_R = S \times F$$

Dimana :

E_R = Tegangan induksi pada rotor berputar dengan slip sebesar S

E_{BR} = Tegangan induksi pada rotor saat diam

F_R = Frekuensi arus rotor pada saat slip sebesar S

Tugas 1.5

Suatu motor induksi tiga fasa 60 cps, dengan jumlah kutub 6 buah, 220 V. Kumparan stator dihubungkan secara segitiga dan kumparan rotor secara bintang. Bila jumlah belitan kumparan rotor setengah jumlah kumparan stator, putaran rotor sebesar 1110 rpm, hitunglah :

- Besarnya slip (S)
- Tegangan induksi saat rotor masih diam (*block rotor voltage* = E_{BR})
- Tegangan induksi pada rotor (E_R) per fasa
- Tegangan rotor diantara terminal-terminalnya
- Frekuensi arus rotor

Tegangan dan Arus Pada Rotor

$$E_R = S \times E_{BR}$$

Bila tegangan ini dibagi dengan tahanan impedansi per fasa (Z_R) akan diperoleh arus rotor (I_R). Tahanan Z_R pada dasarnya terdiri dari dua komponen yaitu:

- Tahanan rotor R_R, dan
- Reaktansi bocor sX_{BR}

Dimana X_{BR} adalah tahanan reaktansi saat rotor masih diam (belum berputar). Besarnya reaktansi rotor sebanding dengan besarnya slip, Jadi besarnya arus rotor dapat dirumuskan :

$$I_R = \frac{S \text{ x } E_{BR}}{\sqrt{R_R^2 + S^2 X_{BR}^2}}$$

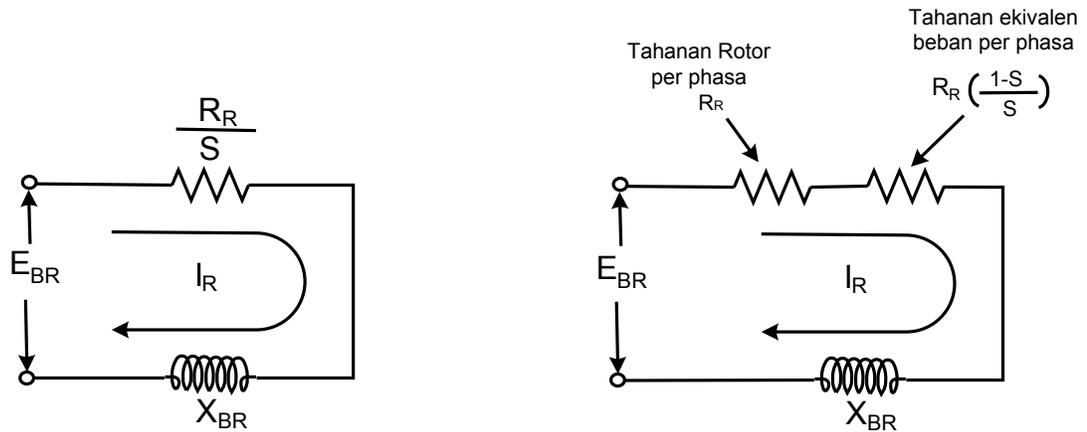
$$I_R = \frac{S \text{ x } E_{BR}}{S\sqrt{\frac{R_R^2}{S^2} + X_{BR}^2}}$$

$$I_R = \frac{E_{BR}}{\sqrt{(\frac{R_R}{S})^2 + X_{BR}^2}}$$

Tugas 1.6

Dengan menggunakan data padatugas 1.5, hitunglah besarnya arus rotor I_R bila diketahui tahanan rotor R_R = 0,1 Ohm, dan tahanan reaktansi X_{BR} = 0,5 Ohm.

Daya Pada Rotor

Melalui gambar di bawah ini dapat kita amati hubungan antara arus, tegangan dan tahanan pada rotor :

Gambar 2. 18 Hubungan antara arus, tegangan dan tahanan

Dari gambar 2. 18 di atas dapat dituliskan persamaan berikut :

$$\frac{R_R}{S} = R_R + R_R\left(\frac{1-S}{S}\right)$$

$$I_R^2 \; x \; \frac{R_R}{S} = I_R^2 \, R_R + I_R^2 \, R_R\left(\frac{1-S}{S}\right)$$

Sehingga :

RPI *(rotor power input)* = RCL *(rotor copper loss)* + RPD *(rotor power developed)*

$RPI = I_R^2 \frac{R_R}{S}$ → *Daya rotor input*

RCL = I_R^2 R_R → Rugi daya pada kumparan

$RPD = I_R^2 R_R\left(\frac{1-S}{S}\right)$ → Rugi daya yang dirubah menjadi daya mekanik

Perlu diperhatikan bahwa daya yang dihasilkan oleh rotor (RPI) sedikit lebih besar dari daya yang diubah menjadi tenaga mekanik (RPD), karena RPI mencakup daya yang hilang akibat gesekan baik oleh angin atau pada bearing. Dengan demikian maka rumus RPD dapat ditulis kembali dalam bentuk :

$$RPD= \frac{I_R^2 x\, R_R}{S} \; x(1\text{-}S)=RPI(1\text{-}S)$$

Tugas 1.7

Dengan menggunakan data padatugas 1.5 dan 1.6, hitunglah:

- Daya masuk pada rotor (RPI)
- Rugi daya pada kumparan (RCL)
- Rugi daya yang dirubah menjadi daya mekanik (RPD)
- Daya rotor dalam HP

Torsi Pada Rotor

$$HP = \frac{RPD}{746} = \frac{2\,\pi\, x\, N_R}{33.000}\; x\; T$$

$$T = 7{,}04\, x\, \frac{RPI\,(1 - S)}{N_R}$$

$$T = 7{,}04\, x\, \frac{RPI}{N_R\,/1 - S}$$

$$N_S = \frac{N_R}{(1 - S)}$$

$$T = 7{,}04 \ \text{x} \ \frac{RPI}{N_S}$$

Slip pada torsi maksimum = $I_{mt} = \frac{E_{BR}^2}{2\ X_{BR}}$

$$S_{mt} = \frac{R_R}{X_{BR}}$$

Tugas 1.8

Torsi maksimum yang dapat dihasilkan oleh motor dengan data pada tugas 1.6. Berapa kecepatan putaran saat torsi tersebut terjadi ?

Torsi Mula

Torsi mula adalah torsi yang terjadi saat motor mulai berputar (kata lain rotor masih diam). Untuk jenis tertentu torsi awal lebih besar dari torsi nominal. Torsi awal terjadi bila slip sama dengan satu (unity) artinya rotor masih belum berputar.

Dengan demikian maka arus awal (I_{ST}) dapat dirumuskan:

$$I_R st = \frac{E_{BR}}{\sqrt{R_R^2 + X_{BR}^2}}$$

$$I_R st = \frac{{E_{BR}}^2}{R_R^2 + X_{BR}^2}$$

Harga arus ini dapat dimasukkan ke rumus torsi lalu sebagai rumus torsi awal (T_{st}).

Tugas 1.9

Hitunglah torsi awal'dari motor induksi pada tugas 1.6 yang lalu !

Efisiensi dan Testing Motor

Tiga macam kerugian pada motor induksi adalah :

- Rugi daya pada kumparan rotor dan stator (*Cu-loss*)
- *Iron loss* (*hysterisis & eddy current*) pada stator
- Gesekan pada bearing ataupun gesekan dengan udara

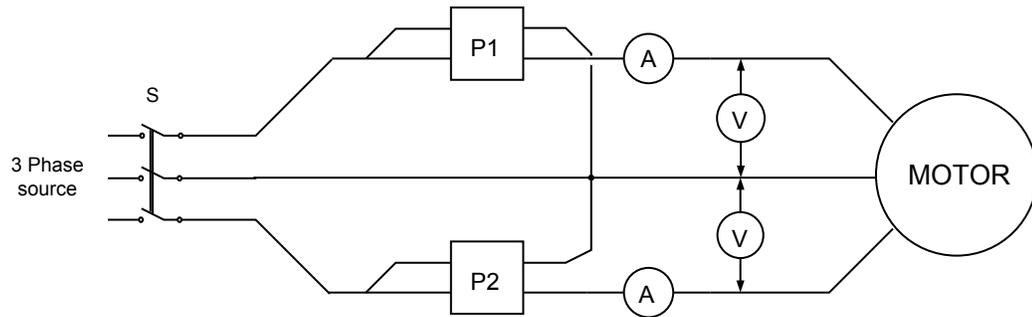
Efisiensi dan karakteristik operasi suatu motor induksi dapat ditetapkan melalui tiga macam motor tes yaitu:

- Tes beban kosong
- Tes beban penuh
- Tes tahanan kumparan stator

Rumus efisiensi dari sebuah motor induksi adalah :

$$Effisiensi\ (\%) = \left(1 - \frac{watt\ losses}{watt\ output + watt\ losses}\right) x\ 100\%$$

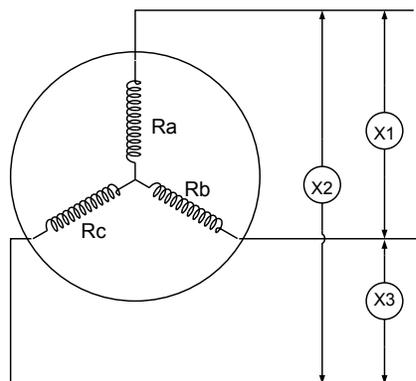
Tes beban kosong

Melalui gambar di bawah ini dapat kita amati rangkaian kelistrikan untuk tes beban kosong suatu motor induksi :

Gambar 2. 19 Tes beban kosong

Tes beban penuh

Rangkaian pengetesan sama dengan tes beban nol, gambar 2. 19 hanya berbeda dalam batas ukur alat ukurnya, mempunyai batas pengukuran yang lebih tinggi, karena motor akan diberi beban. Selain itu juga diperlukan tahanan muka untuk mengatur besarnya arus masuk yang mendekati arus pada name motor tersebut. Dalam hal inidaya merupakan penjumlahan dari kedua wattmeter, karena faktor daya melebihi 0,5.

Tes tahanan kumparan stator

Melalui gambar di bawah ini dapat kita amati rangkaian kelistrikan untuk tes tahanan kumparan stator suatu motor induksi :

Gambar 2. 20 Tes tahanan kumparan stator

Pengukuran :

I $R_A + R_B = X_1$

II $R_A + Rc = X_2$

III $R_B + Rc = X_3$

Tiga kali pengukuran $= X_1 + X_2 + X_3$

Jadi harga rata-rata $= \frac{X1+X2+X3}{3}$

Untuk satu kumparan : $\left(\frac{X1+X2+X3}{3} \right) : 2$

Tugas 1.10

Suatu motor induksi tiga fasa dengan daya 5 HP, 60 cps, 115 volt, memiliki kutub sebanyak 8, dari hasil pengetesan diperoleh data-data sebagai berikut:

Tes beban nol : V_{NL} = 115 V; P_1 = 725 W; P_2 = 425 W; I_{NL} = 10 A

Tes berbeban : V_L = 115 V; P_1 = 3.140 W; P_2 = 1.570 W; I_{NL} = 27,3 A; RPM_{rotor} = 810

Tes tahanan kumparan diantara terminal: = 0,128 Ohm

Hitunglah :

- Daya keluar dalam HP
- Torsi yang terjadi
- Efisiensi dalam prosentase
- Power faktor untuk beban dalam pengetesan

Tes Rotor Diam

Harga tahanan dan reaktansi rotor baik untuk rotor belit atau rotor sangkar dapat diperoleh dari tes rotor diamatau *block rotor test*. Dalam pengetesan rotor diam harus hati-hati karena motor akan cepat sekali menjadi panas biarpun arusnya tidak begitu besar.

$$R_e = \frac{P_{BR}}{3 \text{ x } I_{BR}^2}$$

$R_R = R_e$ - Rstator

$$Z_e = \frac{V_{BR}}{\sqrt{3} \text{ x } I_{BR}}$$

$$X_e = \sqrt{Z_e{}^2 + R_e{}^2}$$

$$X_{BR} = X_{Stator} = \frac{X_e}{2}$$

Tugas 1.11

Motor induksi pada contoh 10 yang lalu diadakan tes rotor tertahan (*block rotor test*), diperoleh data-data sebagai berikut :

V_{BR} = 26 V; I_{BR} = 32 A; PI =1.430 W; P_2 =860 W.

Hitunglah :

- Tahanan ekivalen motor (R_e) ?
- Tahanan reaktansi ekivalen (X_e) ?
- Tahanan dan reaktansi dari rotor?
- Kecepatan putaran saat terjadi torsi maksimum ?

Pada *block rotor test*, besarnya arus stator akan sama dengan $(Vrate/V_{BR}) \times I_{BR}$, dan daya masuk saat rotor blok adalah $(Vrate/V_{BR})^2. \times P_{BR}$.
Keadaan demikianmemungkinkan untuk menghitung torsi awal.

Tugas 1.12

Hitunglah torsi awal dari motor induksi pada tugas 1.10 dan 1.11 !

Alat Bantu Jalan (*Starting System*)

Cara menjalankan motor induksi secara garis besar dibeda kan menjadi tiga yaitu:

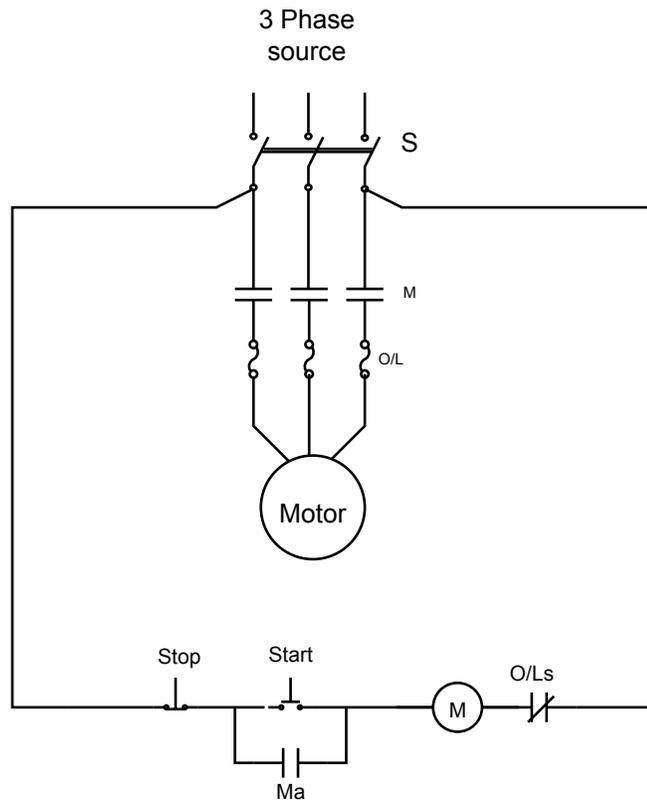
- Tanpa alat bantu jalan (*full voltage starting*)
- Pengurangan tegangan (*reduce voltage*)
- Sebagian kumparan (*part winding starting*)

Tugas 1.13

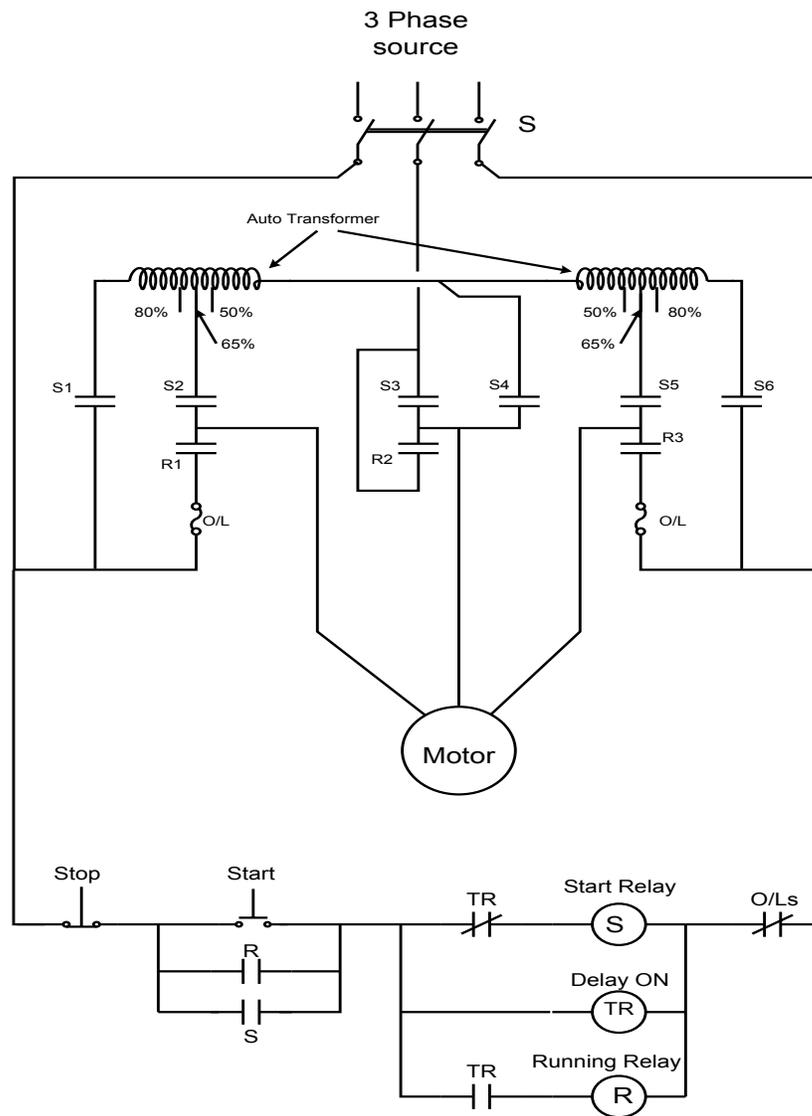
Data berikut diperoleh dari suatu motor induksi 50HP, 440 V, 1.160 rpm. Torsi beban penuh, tegangan 440 V dan arus 63 A sebesar 227 lb-ft. Torsi awal putar pada tegangan 440 V, arus 362 A sebesar 306 lb-ft.
Hitunglah besarnya

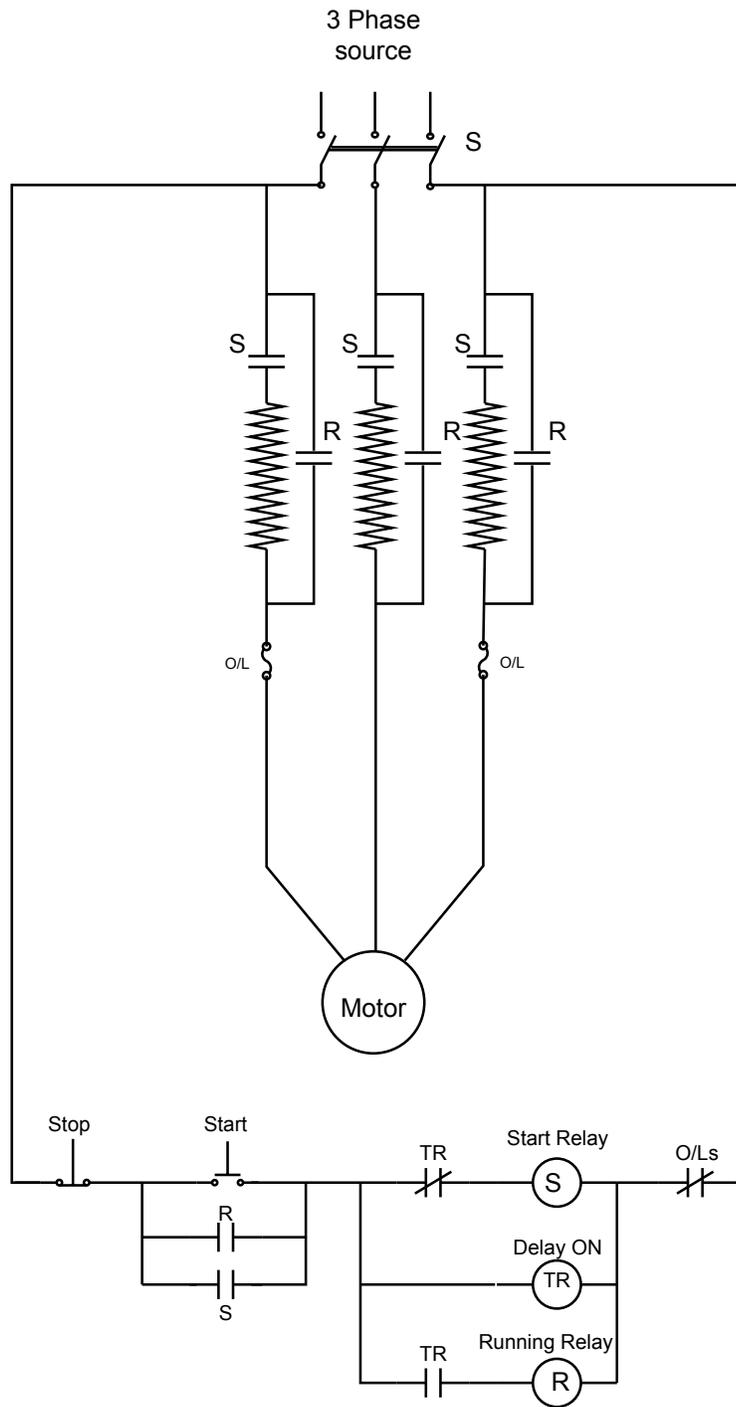
- Torsi dan arusnya saat tegangan masuk 254 volt

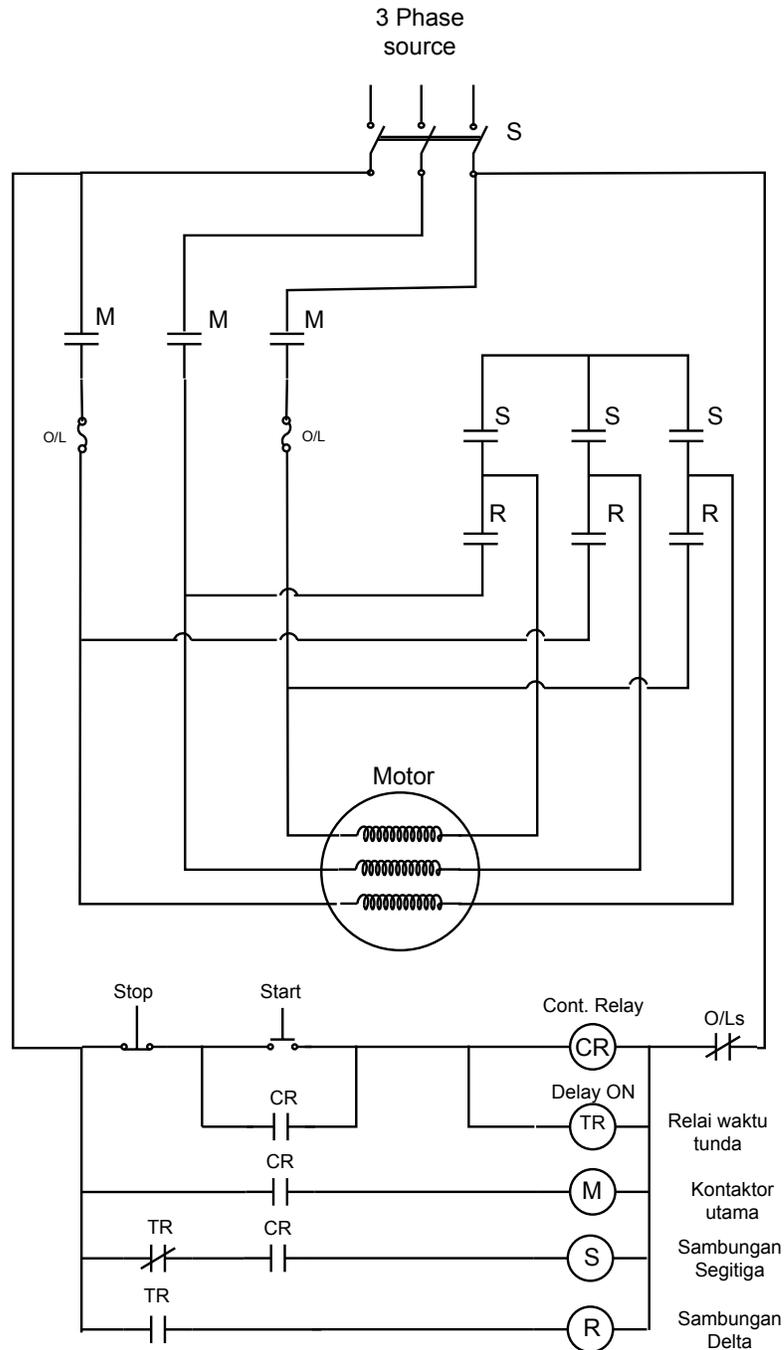
Starting Langsung (direct starting)

Melalui gambar di bawah ini dapat kita amati rangkaian kelistrikan untuk starting langsung sebuah motor induksi :

Gambar 2. 21 Starting langsung (*direct starting*)

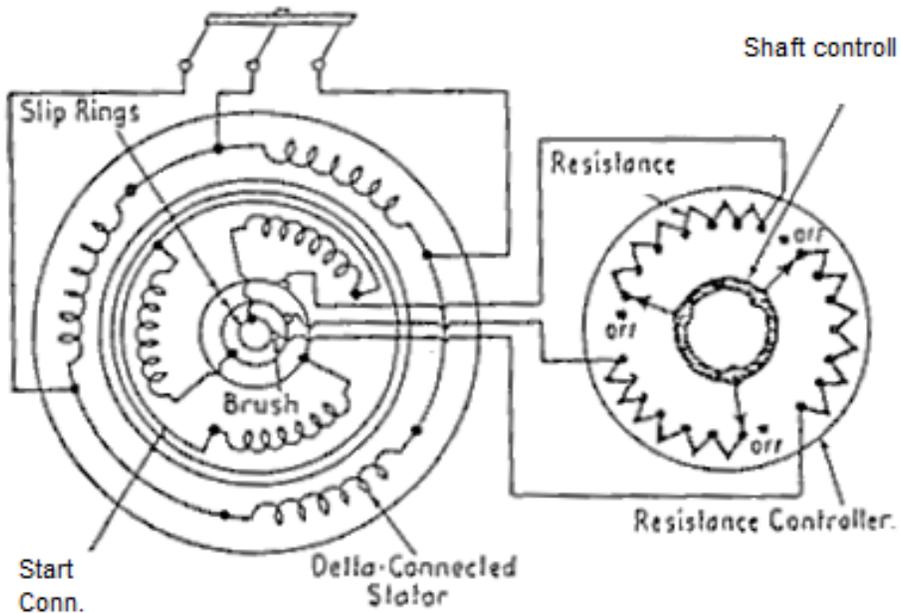
Starting Dengan Pengurangan Tegangan

Melalui gambar di bawah ini dapat kita amati rangkaian kelistrikan untuk starting dengan pengurangan tegangan menggunakan komparator :

Gambar 2. 22 Starting dengan pengurangan teganganmenggunakan komparator

Melalui gambar di bawah ini dapat kita amati rangkaian kelistrikan untuk starting dengan pengurangan tegangan menggunakan tahanan muka :

Gambar 2. 23 Starting dengan pengurangan teganganmenggunakan tahanan muka

Melalui gambar di bawah ini dapat kita amati rangkaian kelistrikan untuk starting dengan pengurangan tegangan hubungan bintang/delta :

Gambar 2. 24 Starting dengan pengurangan tegangan hubungan bintang/delta

Starting *Wound Rotor* (Rotor Belit)

Melalui gambar di bawah ini dapat kita amati rangkaian kelistrikan untuk starting *wound rotor* (rotor belit) :

Gambar 2. 25 Starting Wound rotor (Rotor Belit)

3. Karakteristik Operasi Motor Listrik

Untuk *Squirrel-Cage* Motor

Karakteristik operasi motor induksi tiga fasa rotor sangkar, ditentukan oleh tahanan rotor, celah udara antara stator dan rotor, bentuk alur (slot) dan gigi-gigi (*teeth*) dari stator dan rotor. Faktor-faktor tersebut akan mempengaruhi arus awal, torsi awal, torsi maksimum, prosentase regulasi dan efisiensi.

Dengan menaikkan tahanan rotor akan diperoleh:

- Torsi awal akan naik sampai mencapai torsi maksimum
- Arus awal akan turun

- Efisiensi beban akan turun
- Prosentase regulasi naik

Pabrik telah membuat berbagai tipe konstruksi motor untuk berbagai keperluan, diantaranya :

• Kelas A, adalah motor yang digunakan secara umum (*general purpose motor*) mempunyai arus awal yang rendah, memilikitorsi awal sebesar 1,25% - 1,75%torsi rata-rata, arus awal 5 - 7 kali arus nominal. Motor-motor jenis banyak digunakan pada mesin tools, blower, pumpa dan sejenisnya.

• Kelas B juga dibuat sebagai general purpose yang dapat langsung tersambung ke jala-jala, tanpa alat bantu starting. Motor ini mempunyai tahanan reaktansi lebih tinggi, sehingga arus awalnya hanya 4,5 – 5 kali arus nominal. Faktor daya lebih kecil dari mator Kelas A.

• Kelas C, motor yang dibuat dengan double cage, dapat di start langsung dengan tegangan penuh. Arus awal 4,5 - 5 kali arus nominal dan torsi awalnya lebih dari dua kali torsi output. Motor ini banyak digunakan untuk tekan, pompa refrigerator, crusher, conveyor, boring mills, mesin-mesin tekstil, dan sejenisnya.

• Kelas D, mempunyai tahanan reaktansi yang cukup tinggi, digunakan pada meralatan yang memerlukan torsi awal (*starting torque*) yang berat/tinggi. Efisiensi lebih rendah dari ketiga Kelas motor di atas. Motor ini dapat di sambung langsung ke jala-jala dengan arus awal 4-5 kali arus nominal. Torsi awal 2-3 kali torsi beban penuh. Karena efisiensinya yang rendah pemakaian motor ini sifatnya khusus misalnya untuk mesin bulldozer, mesin potong, *hoist*, *punch press*, dan sejenisnya.

Untuk Motor Dengan Rotor Belit(*Wound Rotor)*

Motor induksi dengan rotor belit digunakan bila diinginkan torsi awal starting beban secara halus atau diperlukan yang tinggi, dengan arus awal yang rendah.
Perbedaan dengan rotor gulung adalah perbedaan cara memperoleh tegangan induksi. Pada rotor sangkar tahanan rotor tetap, sehingga diperoleh kerakteristik *full load operating speed, torque maksimum* dan *accelarasi* putaran juga tetap. Pada rotor belit, kumparan rotor terdiri daritiga kumparan seperti halnya pada kumparan stator, ujung- ujung dihubungkan ke *slip-ring*, dimanapada *slip* ini dipasangkan tahanan kontroler (lihat gambar 2. 24) . Dengan merubah nilai tahanan rotor akan diperoleh atau kata perubahan torsi awal dan perubahan putaran,atau kata lain putaran dan torsi dapat diatur secara halus (perubahan putaran dapat mencapai 50%- 75%).

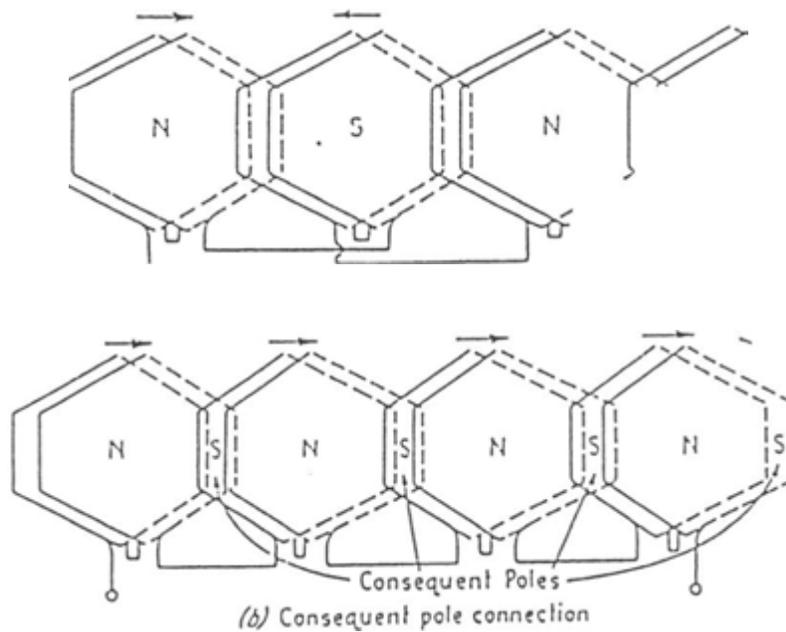
Makin tinggi tahanan rotor makin rendah putarannya. Motor induksi dengan rotor belit banyak digunakan pada *elevator, crane*, Kompresor, *hoist, large ventillating fan*, dan sejenisnya.

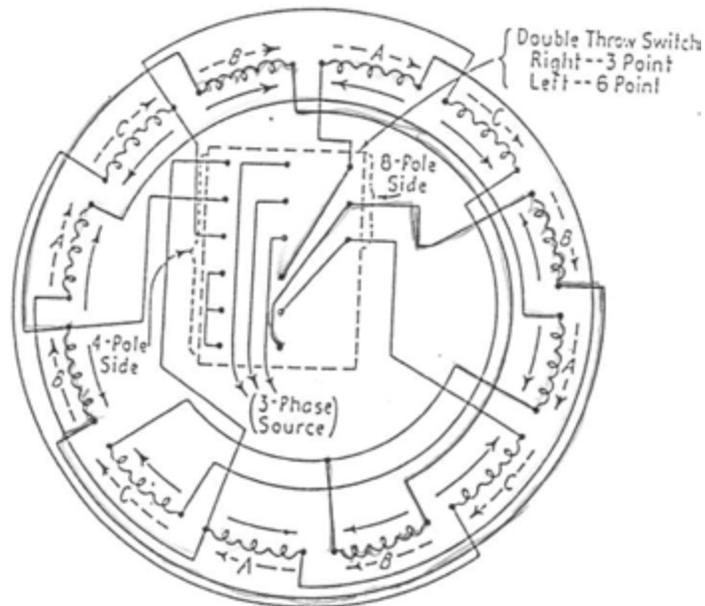
4. Pengaturan Putaran

Wound Rotor Method

Cara iniadalah cara yang biasa. Fakta yang terjadi bahwa prosentase efisiensi dari motor dengan rotor belit lebih kecil dari (1 - S)x 100. Jadi misalkan suatu tahanan dimasukan pada rangkaian rotor, sehinga slipnya 0,4, maka efisiensinya akan kurang dari 60%Atau kata lain penambahan tahanan ke rangkaian rotor untuk mengurangi kecepatan selalu berakibat kehilangan daya pada tahanan luar.

Dengan Susunan Kutub Berlanjutan (*Conseqent-Pole*)

Melalui gambar di bawah ini dapat kita amati contoh sket susunan perubahan jumlah kutub :

Gambar 2. 26 Sket susunan perubahan jumlah kutub

Melalui gambar di bawah ini dapat kita amati wiring diagram hubungan pemasangan sakelar untuk merubah putaran rotor :

Gambar 2. 27 Wiring diagram hubungan pemasangan sakelar untuk merubah putaran rotor

Dengan Merubah Frekuensi Sumber Listrik

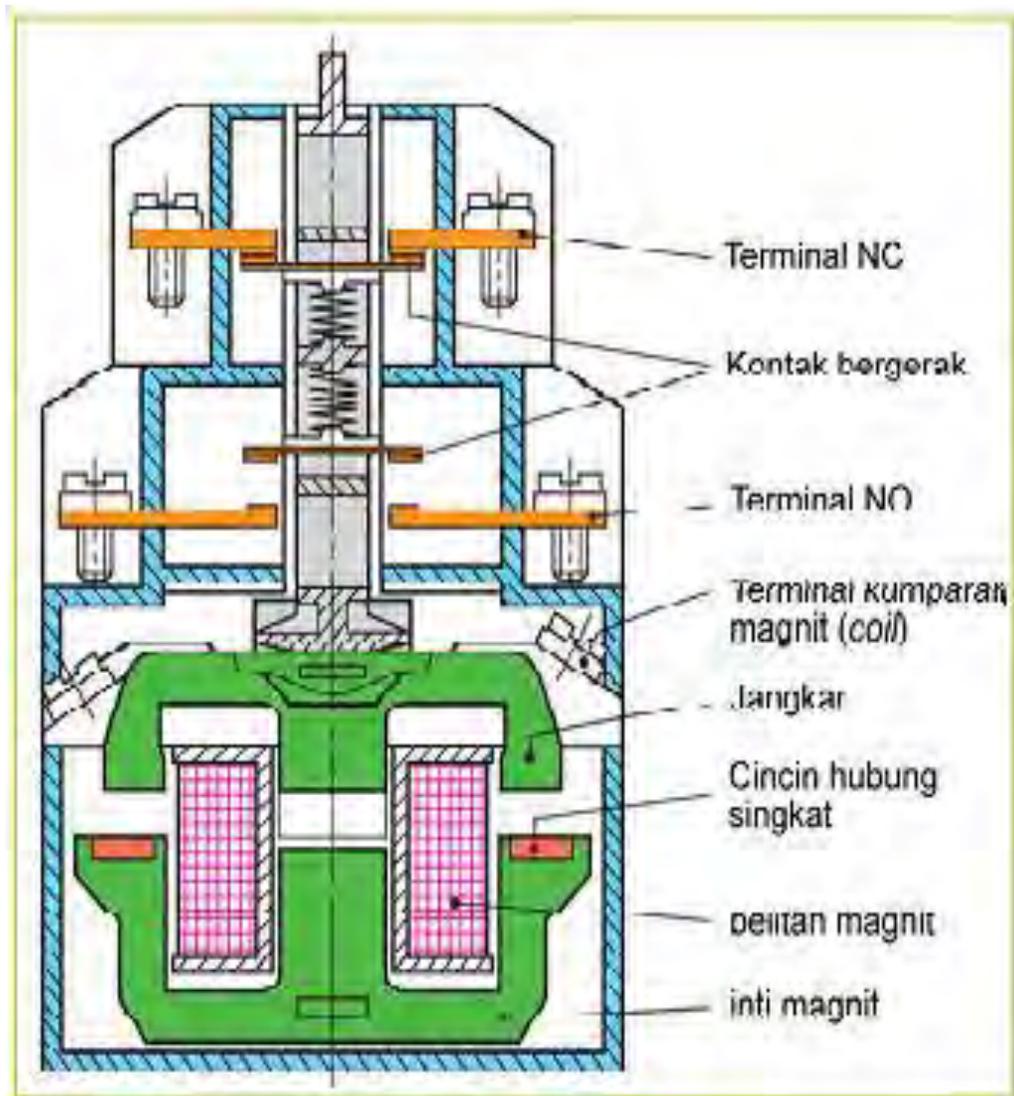
Cara ini digunakan bila tiap alternator mencatu satu atau lebih motor yang digunakan secara khusus. Putaran motor dapat di kontrol dengan merubah frekuensi alternatornya. Mengingat sifatnya yang khusus ini maka pemakaiannya sangat terbatas, misalnya pada kelistrikan kereta api, atau pada kapal-kapal laut. Pada dekade sekarang, pengaturan putaran motor induksi sudah banyak dipakai di industri-industri, prinsip dari operasi ini adalah dengan merubah tegangan sumber dan frekuensinya.

5. Rangkaian Kontaktor

Apakah kalian tahu apa yang dinamakan dengan kontaktor?

Kontaktor merupakan saklar daya yang bekerja berdasarkan kemagnitan.

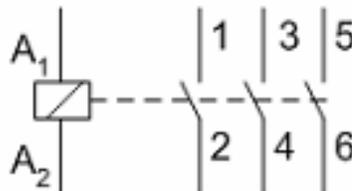
Bila koil (kumparan magnit) dialiri arus listrik, maka inti magnit menjadi jangkar (magnet), sekaligus menarik kontak-kontak yang bergerak, sehingga kontak NO (*normally open*) menjadi sambung, dan kontak NC (*normally close*) menjadi lepas.

Marilah kita amati gambar konstruksi dari sebuah kontaktor di bawah ini !

Gambar 2. 28 Wiring diagram hubungan pemasangan sakelar
untuk merubah putaran rotor

Melalui gambar di bawah ini dapat kita amati bentuk fisik dari sebuah kontaktor magnet :

Gambar 2. 29 Kontaktor magnet

Simbol Kontaktor Magnet

Melalui gambar di bawah ini dapat kita amati bentuk fisik dari sebuah kontaktor magnet :

Gambar 2. 30 Simbol kontaktor magnet

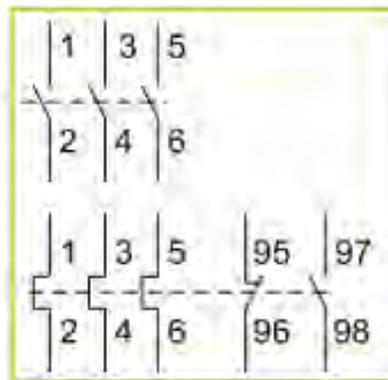
- Terminal kumparan : A1 dan A2, disambungkan pada rangkaian kontrol.
- Bagian sebelah kanan adalah kontak-kontak sebagai saklar daya yang berfungsi untuk mengalirkan arus beban yang relatif besar.
- Terminal 1, 3, dan 5 disambungkan ke sumber jaringan 3 fasa dan terminal 2, 4, dan 6 disambungkan ke beban (motor).

Kontak Utama dan Kontak Bantu

Berdasarkan fungsinya, kontak kontak pada kontaktor magnit ada 2 macam, yaitu kontak utama dan kontak bantu.

Kontak Utama

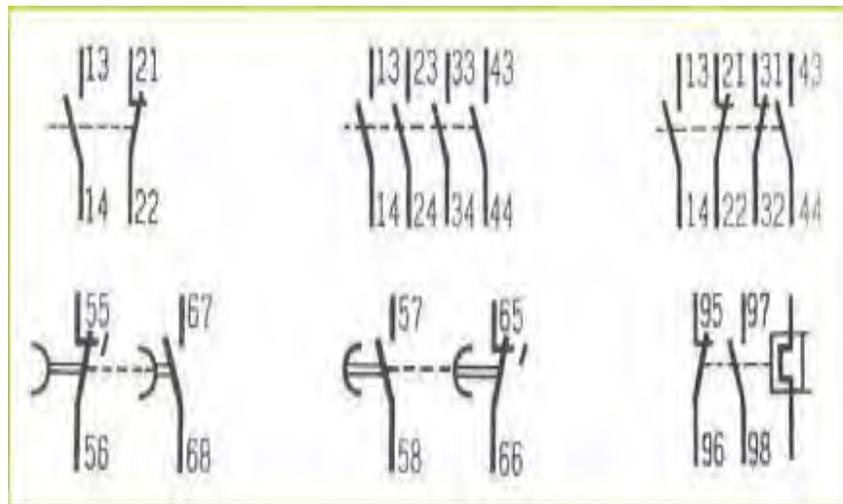
- Konstruksi kontak-kontaknya dimensinya lebih luas dan tebal, sehingga mampu dialiri arus listrik yang relatif besar (arus beban).
- Terminal keluarnya yang ke beban (2, 4, dan 6) bisa disambungkan ke rele pengaman arus lebih (*Thermal Overload Relay*/TOR).

Marilah kita amati simbol kontak utama dan TOR dari sebuah kontaktor di bawah ini !

Gambar 2. 31 Kontak utama dan TOR

Kontak Bantu

- Konstruksi kontak-kontaknya berdimensi lebih sempit dan tipis, karena arus yang melaluinya relatif kecil (arus untuk rangkaian kontrol).
- Penulisan terminal kontak-kontak bantu pada kontaktor magnit ditulis dengan angka dan digit, yaitu :
  - kontak-kontak NC, digit kedua dari terminal-terminalnya dengan angka 1 dan 2
  - kontak-kontak NO, digit kedua dari terminal-terminalnya dengan angka 3 dan 4.

- kontak-kontak bantu untuk fungsi tertentu (misal dengan timer), kontak-kontak NC, digit kedua dengan angka 5 – 6. dan untuk kontak-kontak NC nya, digit kedua dengan angka 7 – 8.

Marilah kita amati simbol bantu dari sebuah kontaktor di bawah ini !

Gambar 2. 32 Kontak bantu

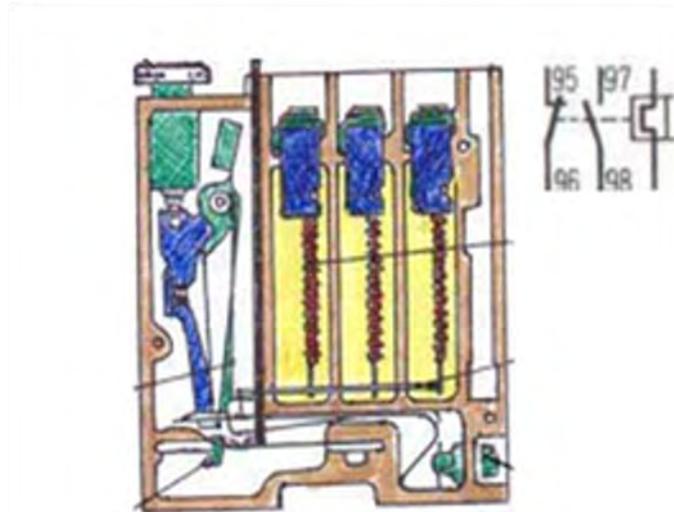
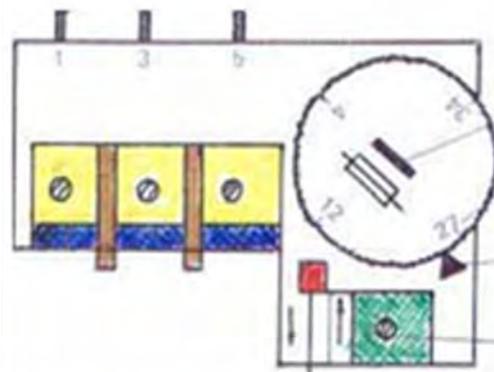
Rele Pengaman Arus Lebih (*Thermal Overload Relay/TOR*)

Apakah kalian tahu apa yang dinamakan dengan rele pengaman arus lebih (*Thermal Overload Relay*) ?

Rele pengaman arus lebih merupakan pengamanan motor akibat adanya arus lebih / beban lebih.

Beberapa penyebab terjadinya beban lebih antara lain :

1. Arus start yang terlalu besar
2. Beban mekanik motor terlalu besar
3. Motor berhenti secara mendadak
4. Terbukanya salah satu fasa dari saluran motor 3 fasa
5. Terjadinya hubung singkat

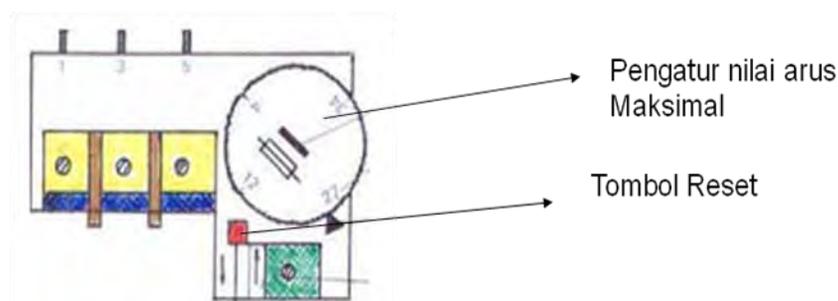
Melalui gambar di bawah ini dapat kita amati gambar konstruksi dan gambar permukaan dari sebuah *Thermal Overload Relay/TOR :*

Gambar 2. 33 Konstruksi dan permukaan TOR

Cara Kerja TOR

- TOR dipasang secara seri dengan kontak utama kontaktor magnit.
- Pada gambar bimetal dialiri arus utama. Jika terjadi arus lebih, maka bimetal akan membengkok dan secara mekanis akan mendorong kontak bantu NC 95-96.
- Oleh karena dalam prakteknya kontak bantu NC 95-96 disambung seri pada rangkaian koil kontaktor magnit, maka jika NC lepas, koil kontaktor tidak ada arus, kontaktor magnit tidak aktif dan memutuskan kontak utama.

Penggunaan TOR

- Nilai pengaman arus lebih ini bisa diset dengan mengatur jarak pendorong kontak.
- Dalam prakteknya pada permukaan rele pengaman arus lebih terdapat bidang kecil yang berbentuk lingkaran, yang tengahnya bisa diputar dengan obeng minus.
- Juga terdapat tombol tekan untuk mereset.

Melalui gambar di bawah ini dapat kita amati gambar permukaan dari sebuah *Thermal Overload Relay/TOR :*

Gambar 2. 34 Gambar permukaan TOR

6. Mengoperasikan Sistem Pengendali Eletromagnetik

Dalam sistem pengendali elektromagnetik ada dua diagram gambar yang sering digunakan, yaitu :

- Diagram kontrol
- Diagram daya

Diagram Kontrol

Yang termasuk diagram kontrol antara lain :

- Pengaman arus kontaktor magnit : sekering / MCB (kecil)
- Tombol tekan stop
- Tombol tekan start : tombol kunci start, dll.
- Koil konduktor magnit
- Kontak-kontak bantu kontaktor magnit NO, NC.
- Kontak-kontak bantu timer NO, NC.
- Kontak-kontak bantu TOR
- Lampu tanda.

Diagram Daya

Sedangkan yang termasuk diagram daya antara lain :

- Pengaman arus beban : sekering / MCB
- Kontak-kontak utama kontaktor magnit
- Kontak-kontak pengaman arus lebih (TOR)
- Terminal-terminal transformator
- Terminal-terminal resistor
- Terminal-terminal induktor
- Terminal-terminal kapasitor kompensasi
- Terminal-terminal belitan motor / beban lainnya

Kendali Elektromagnetik Pada Motor

Dalam sistem pengendali elektromagnetik ada empat pengendali motor yang sering digunakan, yaitu :

1. Diagram kontrol dan diagram daya Pengendali motor langsung (Direct on line)
2. Diagram kontrol dan diagram daya Pengendali motor langsung dengan TOR
3. Diagram kontrol dan diagram daya Pengendali motor putar kanan-kiri
4. Diagram kontrol dan diagram daya pengendali starter motor dengan pengasutan Y – Δ

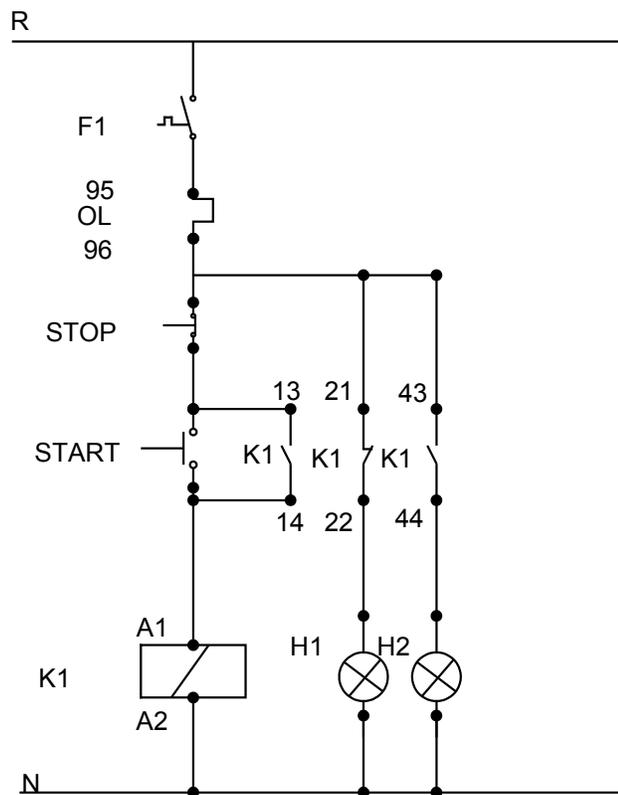
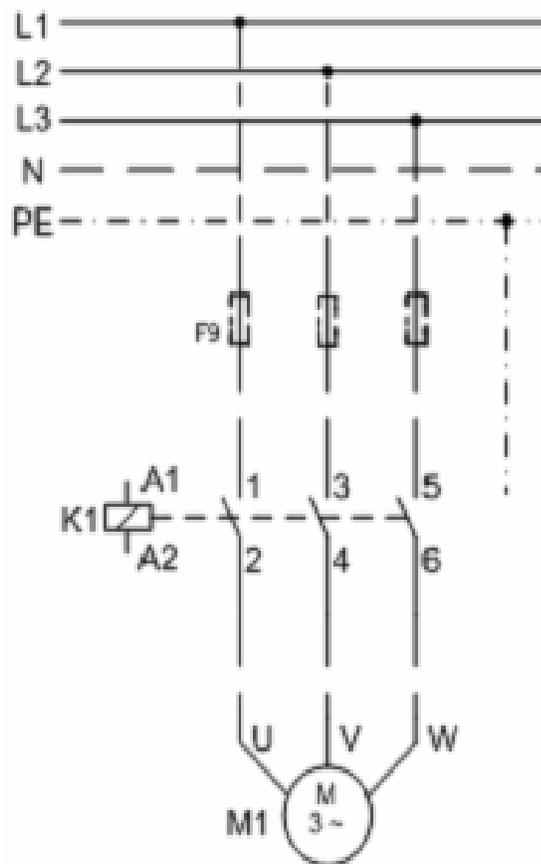
Diagram kontrol dan diagram daya Pengendali motor langsung (*Direct on line*)

Gambar 2. 35 Diagram kontrol dan diagram daya Pengendali motor langsung (*Direct on line*)

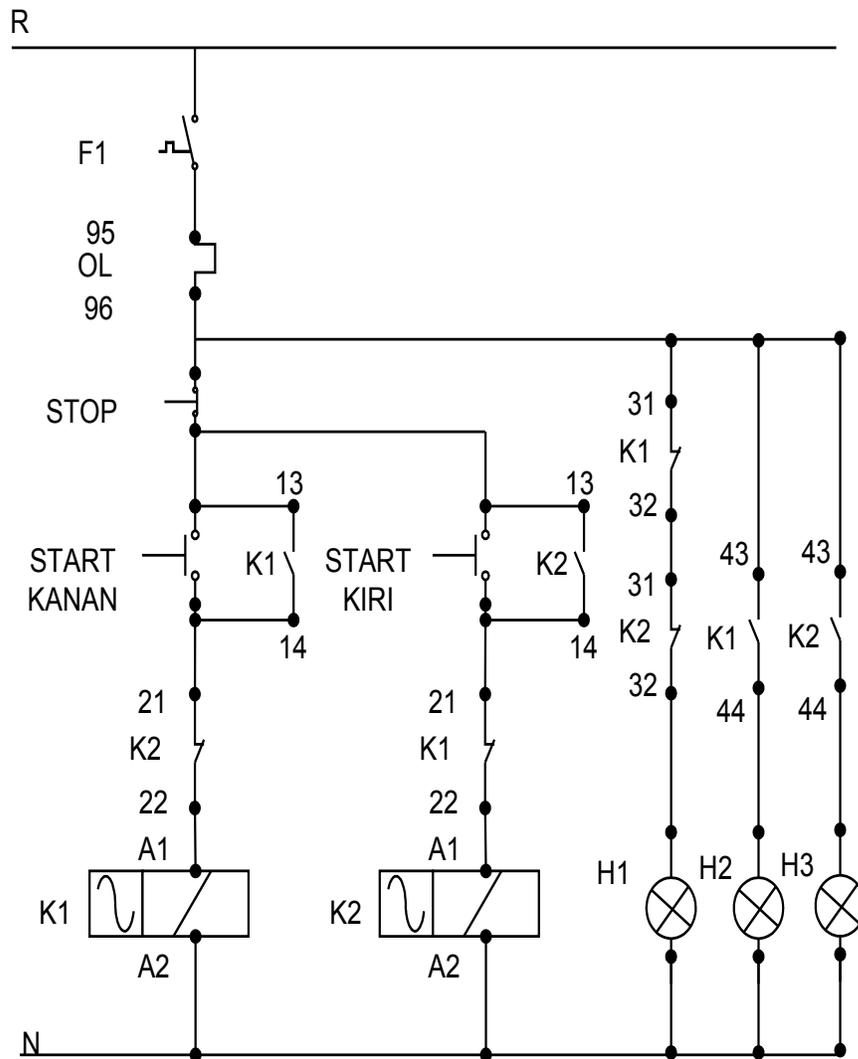
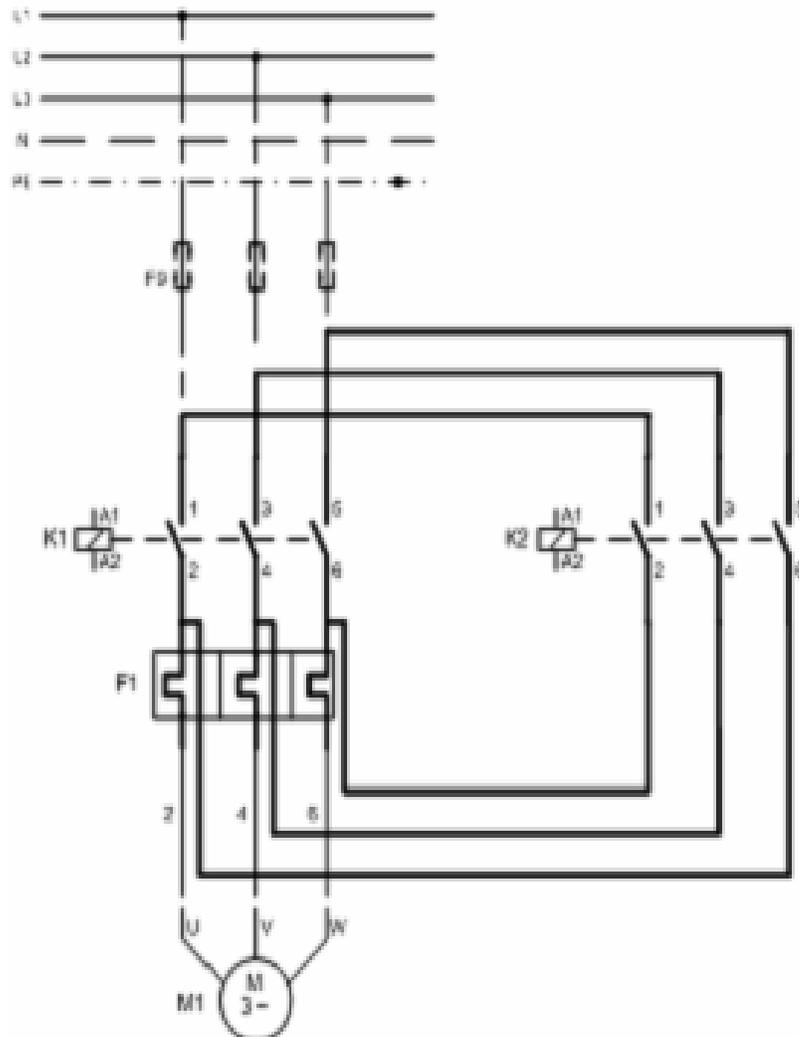
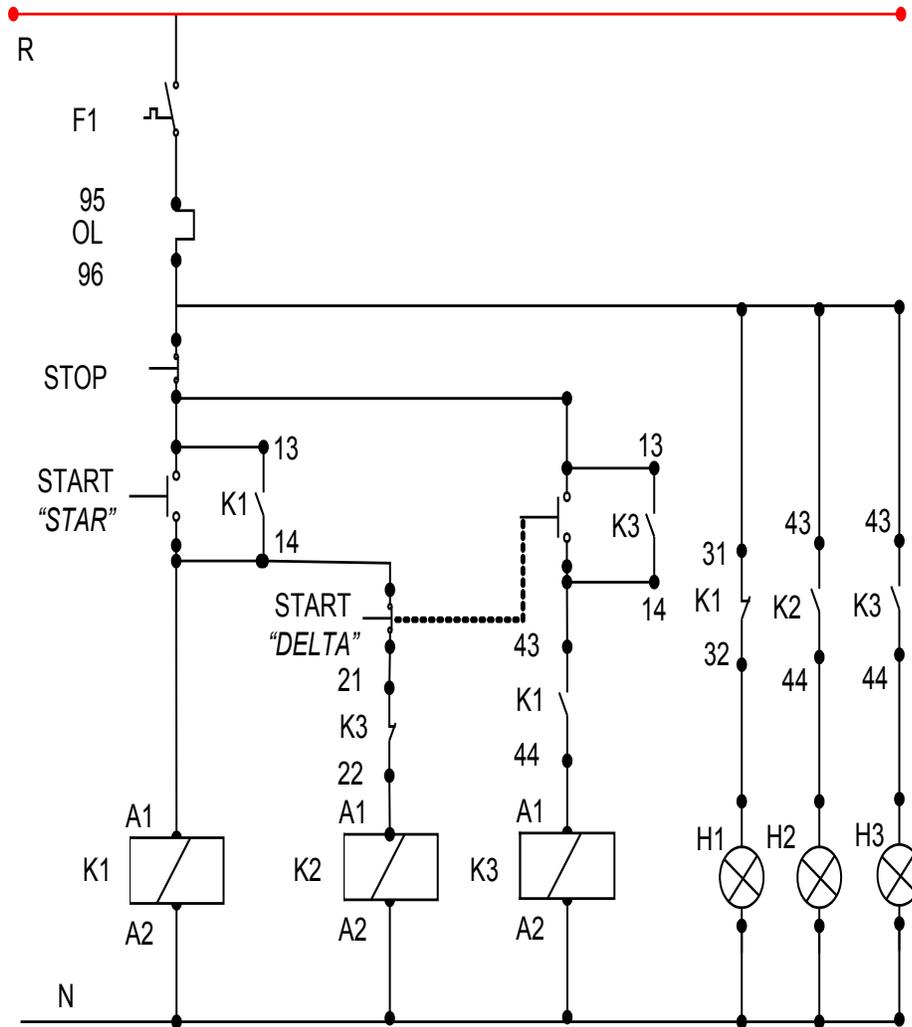
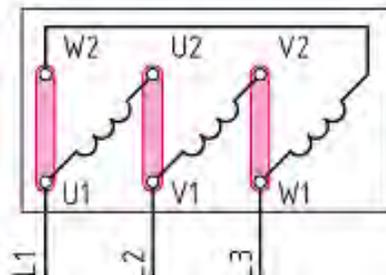
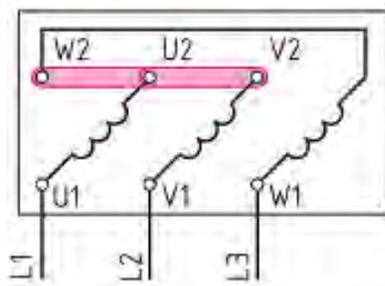
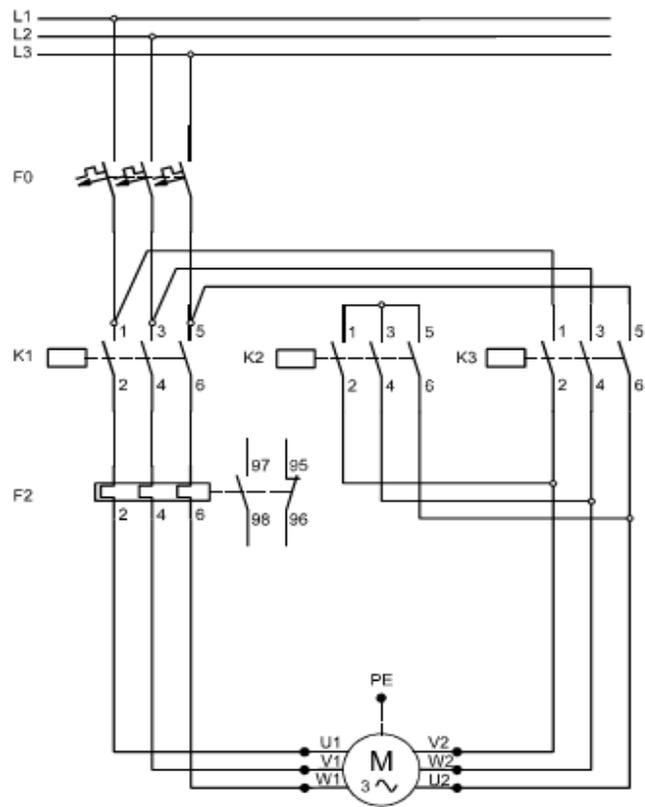
Diagram kontrol dan diagram daya Pengendali motor putar kanan-kiri

Gambar 2. 36 Diagram kontrol dan diagram daya Pengendali motor putar kanan-kiri

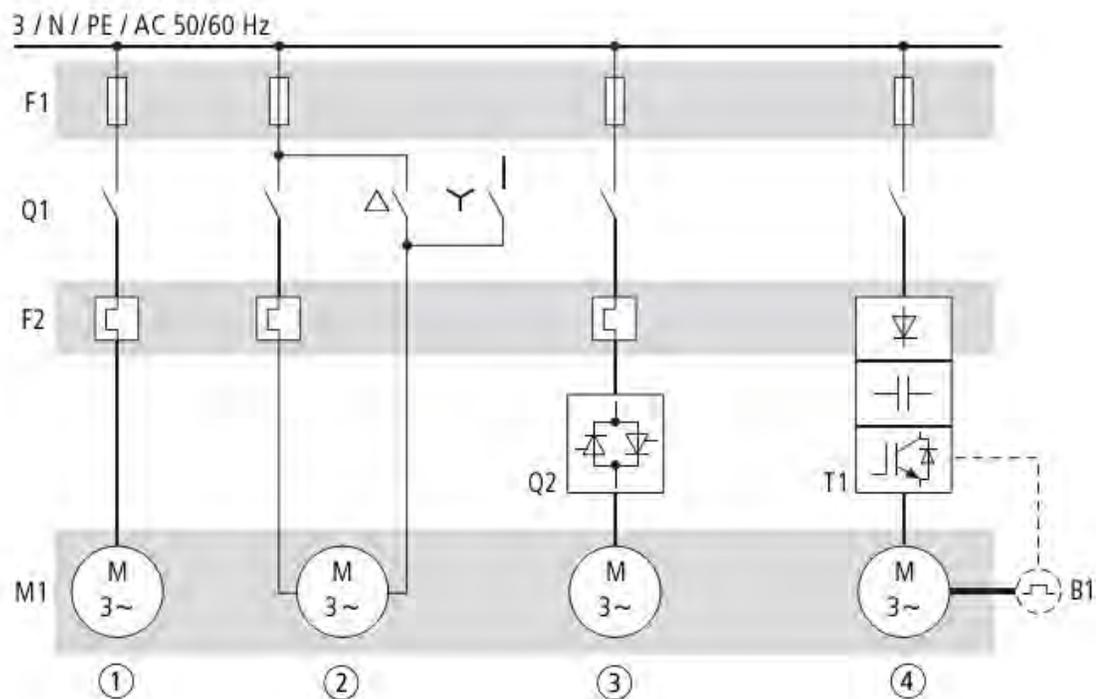
Diagram kontrol pengendali starter motor dengan pengasutan Y – Δ

Gambar 2. 37 Diagram kontrol pengendali starter motor dengan pengasutan Y – ∆

Tugas 1.4

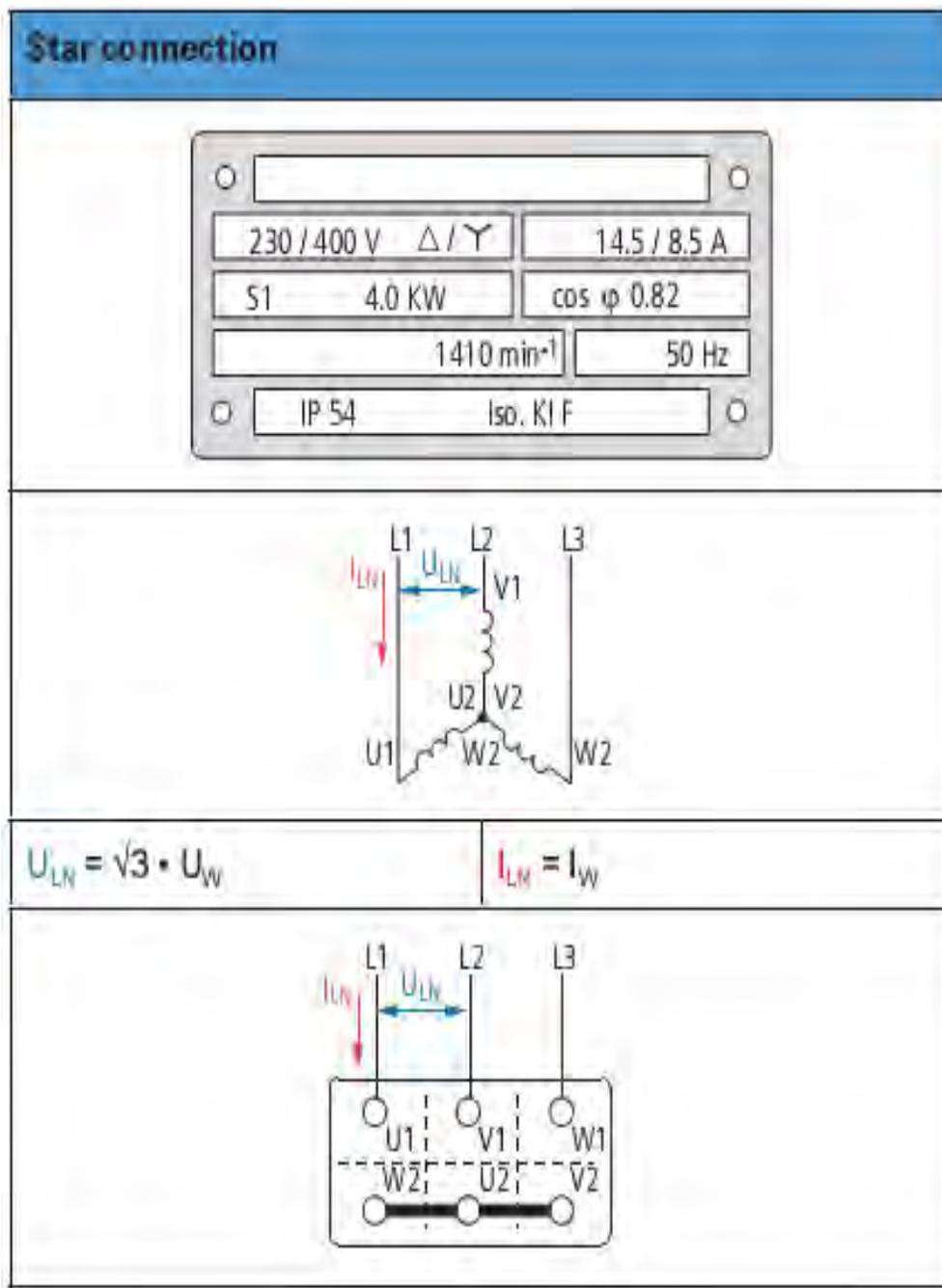
1. Jelaskan prinsip kerja dari diagram kontrol dan diagram daya Pengendali motor langsung (Direct on line)?
2. Bagaimana prinsip kerja dari kendali motor 3 fase untuk putar kanan dan kiri?

7. Hubungan motor induksi tiga-fasa

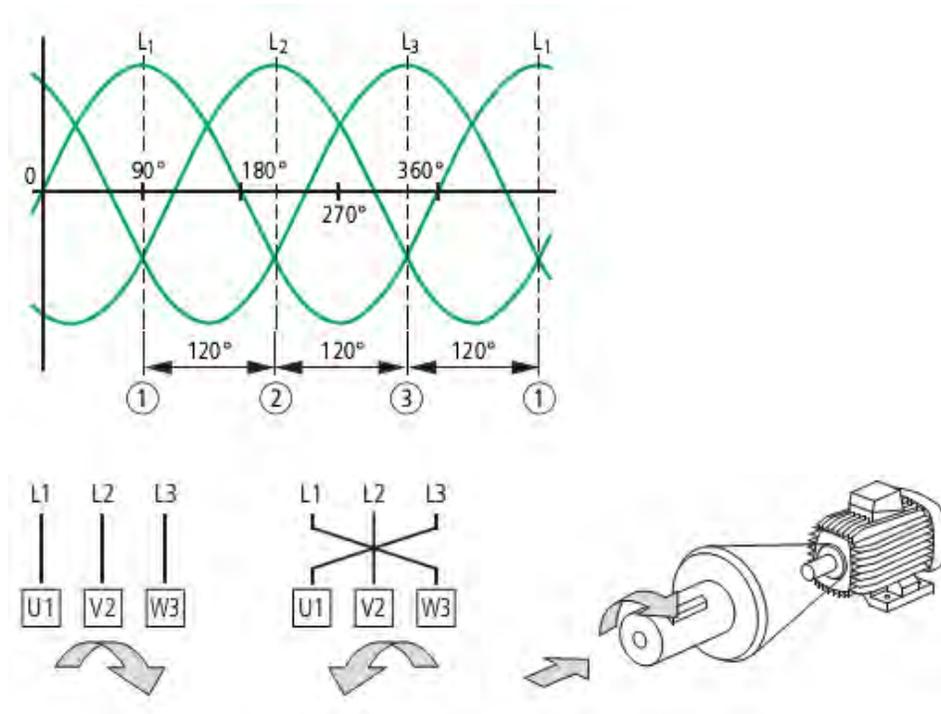
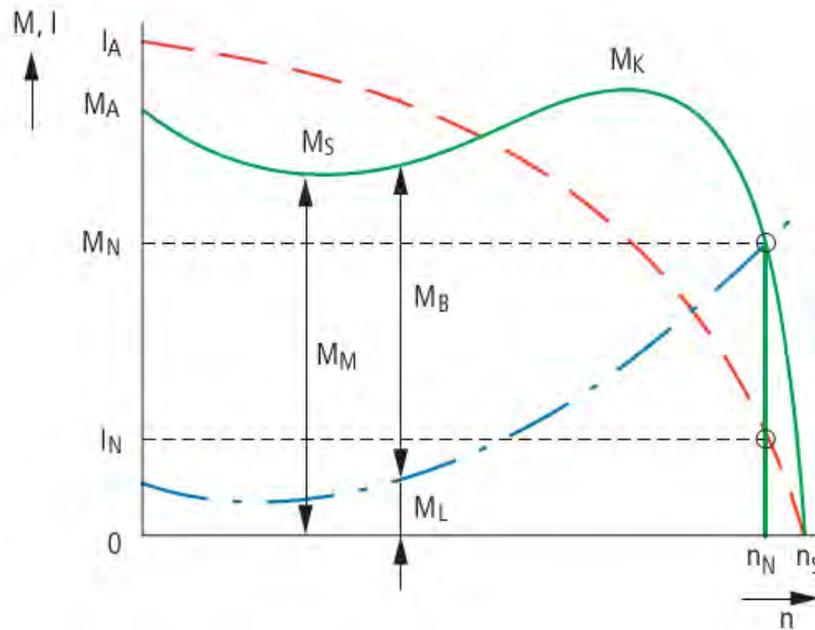
Motor induksi (*Asynchronous motor*) secara luas banyak digunakan di fasilitas industri dan bangunan besar. Rancangan dan perawatannya sederhana, dapat disesuaikan pada berbagai aplikasi di lapangan dan pengoperasiannya ekonomis. Ini sangat menguntungkan sebagai solusi pengendali motor induksi pada sisi harga dan kualitas.

Karakteristik motor induksi tiga-fasa adalah arus bebannya tinggi pada sumber tegangan dengan *direct-on-line starting*. Menghasilkan arus start dan lonjakan yang tinggi jika diaplikasikan pada tegangan penuh, akan mengakibatkan penurunan tegangan sumber dan pengaruh transien torsi pada sistem mekanik.

Gambar 2. 38 Metoda Motor Starting

1. *Direct-On-Line* motor starting.
2. *Start-delta* (bintang-segitiga) motor starting.
3. *Soft starter* (Q2), motor starter kontinyu dan bertahap, alternafif secara elektronik sebagai pengganti Start-delta (bintang-segitiga) motor starting.
4. *Variable Frequency Drivers* atau inverter sebagai pengendali kecepatan motor dan terintegrasi dengan proteksi motor secara elektronik.

Jika motor induksi tiga-fasa dihubungkan ke sumber tegangan, data pada pelat nama motor harus disesuaikan dengan sumber tegangan dan frekuensinya. Hubungan diimplementasikan melalui enam terminal (versi standar) pada kotak terminal motor dan perbedaannya antara dua jenis rangkaian, hubungan bintang dan hubungan segitiga. Contoh untuk sumber tegangan tiga fasa 400 Volt, 50 Hz (lihat gambar 2.39 dan 2.40).

Gambar 2. 39 Hubungan Bintang

Gambar 2. 40 Hubungan Segitiga

Secara umum, keadaan motor tiga-fasa ditentukan pada standar (DIN/VDE 0530, IEC/EN 60034). Bagaimanapun juga rancangan pabrikan sangat dominan. Contoh, yang ada di pasaran untuk daya output motor yang kecil (<4 kW) secara khusus digunakan pada pompa dan kipas, kadang-kadang kita temukan motor tanpa kotak terminal. Disini kumparan dihubungkan dibagian dalam motor dan hanya tiga kabel yang dapat dihubungkan untuk tegangan tertentu.

Gambar 2. 41 Membalik putaran motor pada kotak terminal

Gambar 2. 42 Kurva karakteristik starting motor induksi tiga-fasa

I_A = arus start

I_N = arus nominal

M_A = Torsi start

M_B = Torsi Aklerasi (M_M> M_L)

M_K = Torsi Breakdown

M_L = Torsi Beban

M_M = Torsi Motor (titik operasi)

M_N = Torsi Beban, titik persilangan keadaan mantap (*steady-state*) pada karakteristik torsi-kecepatan dengan karakteristik beban.

n = kecepatan (nilai aktual).

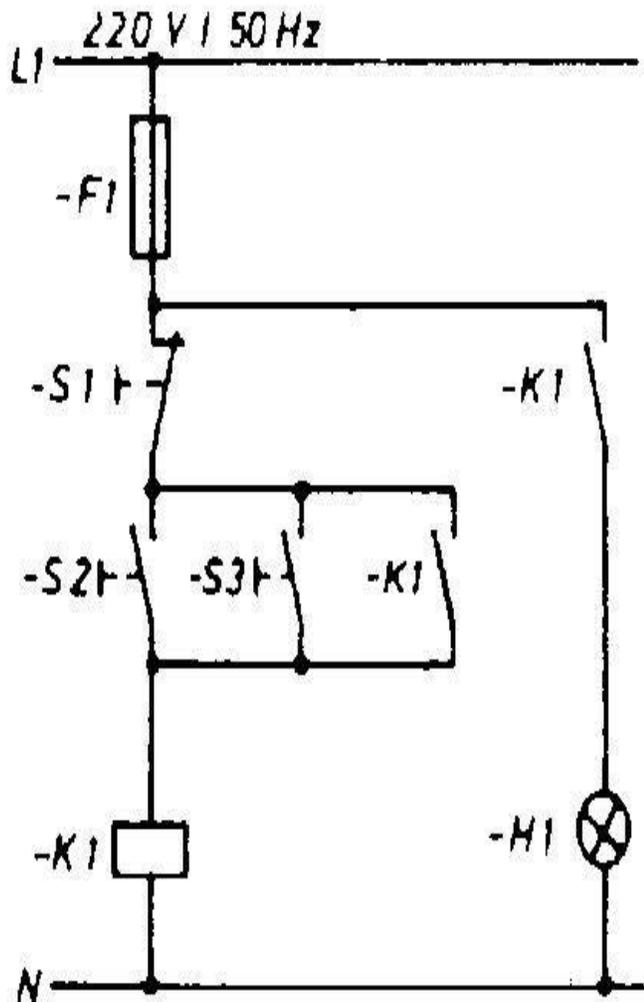
n_N = kecepatan pada titik operasi.

N_s = kecepatan sinkron (n_s – n_N = slip).

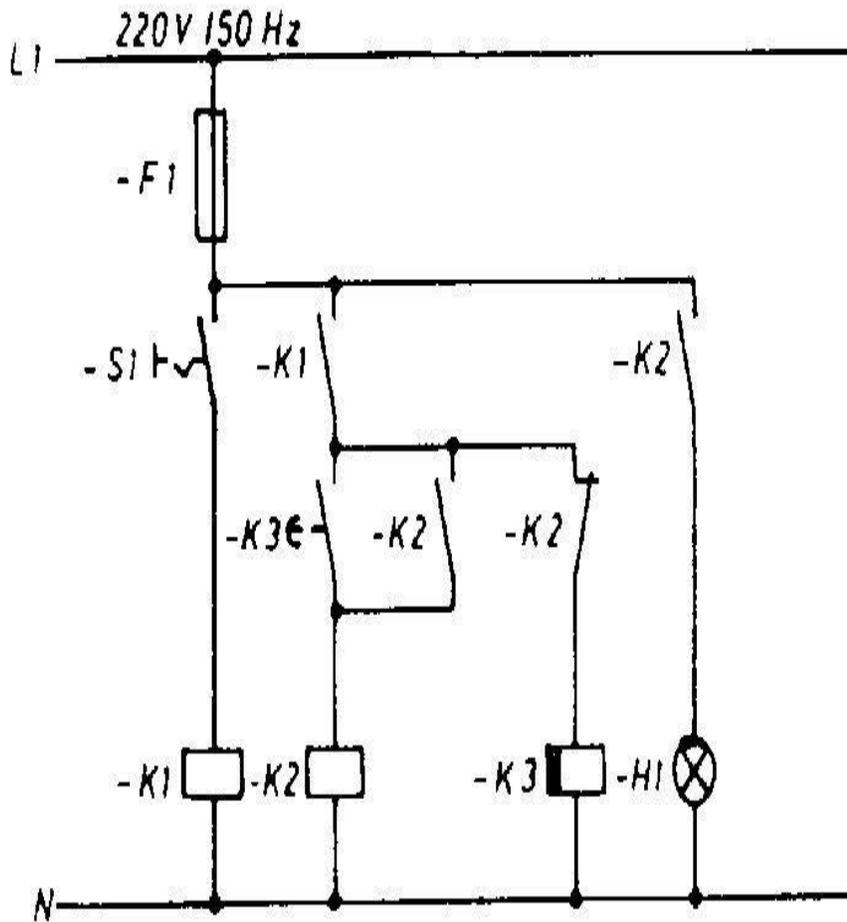
B. Tugas Praktek

1. Rangkaian Kontaktor Menggunakan Dua Tombol Tekan ON dan OFF

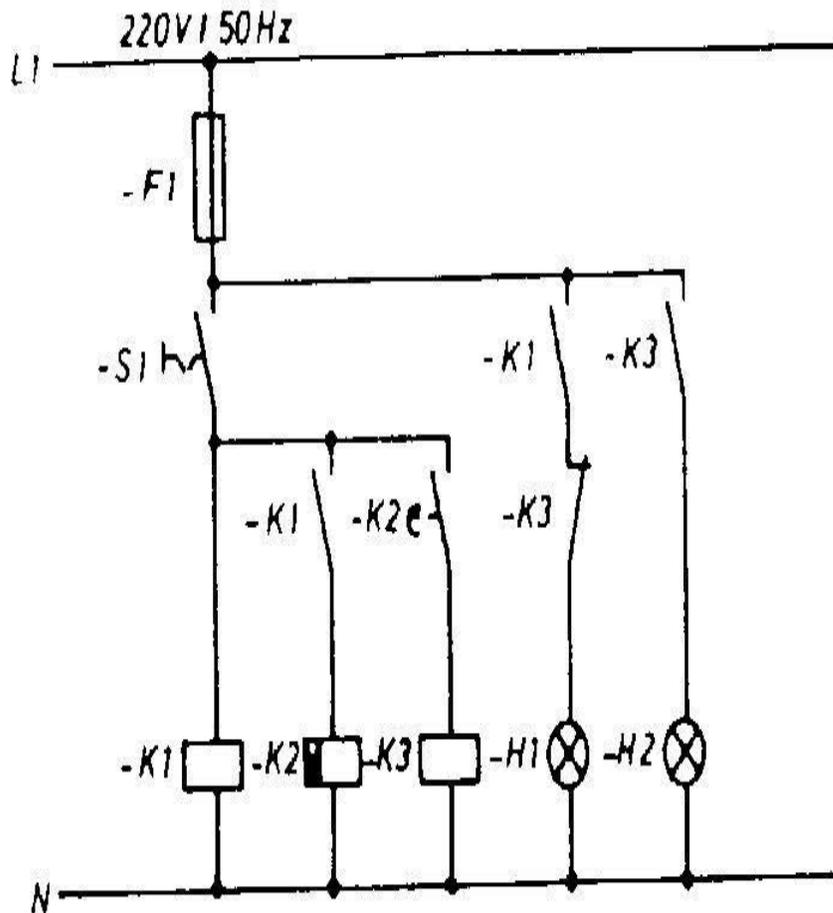
Penjelasan Fungsi :

Jika tombol S_2 atau S_3 ditekan, maka kontaktor K_1 akan bekerja dan mengunci, kemudian H_1 menyala. Kalau S_1 ditekan, maka kontaktor K_1 akan terputus.

2. Penyalaan Lampu Dengan Waktu Tunda (Perlambatan)

Penjelasan Fungsi :

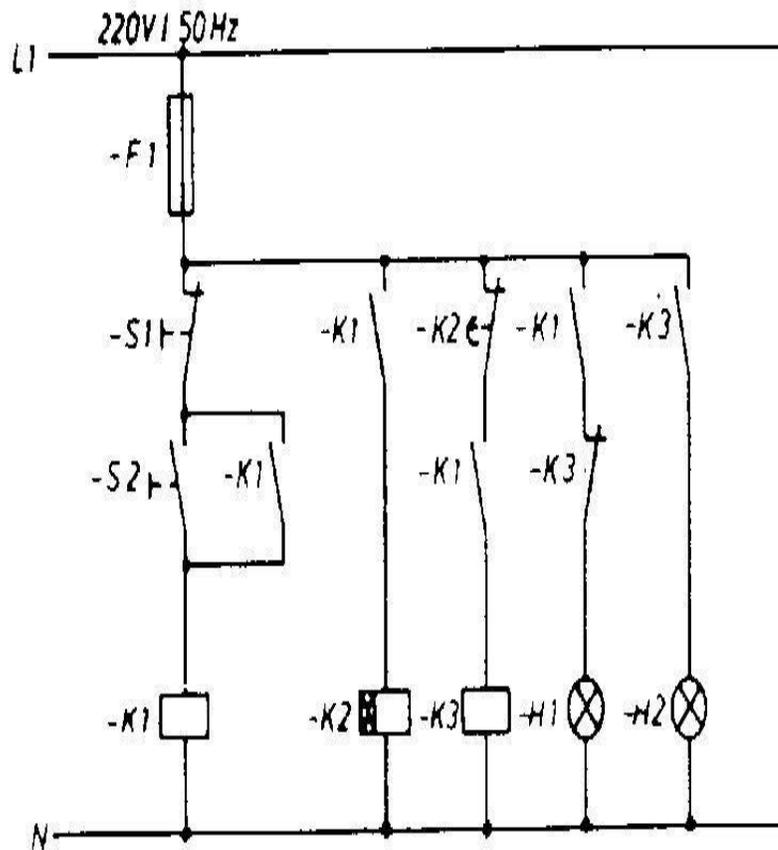
Jika saklar S_1 dihubungkan (ON), maka dengan segera kontaktor K_1 bekerja. Kontak K_1 menghubungkan rele penunda waktu (TDR) K_3. Setelah waktu pengaturan tunda (TDR) K_3 tercapai, maka kontak K_3 pada kontaktor K_2 menutup. Kontaktor K_2 bekerja menghidupkan lampu H_1. Dengan memutus saklar S_1, maka kontaktor K_1 lepas dan lampu H_1 terputus/tidak menyala. TDR = Time Delay Relay (rele penunda waktu)

3. Pengendali Dengan Waktu Perlambatan Untuk 2 Lampu

Penjelasan Fungsi :

Jika saklar S_1 dihubungkan, kontaktor K_1 bekerja dan lampu H_1 menyala secara bersamaan rele tunda waktu K_2 bekerja. Setelah waktu penundaan TDR K_2 tercapai, maka K_3 akan bekerja, lampu H_1 terputus, lampu H_2 terhubung. Jika S_2 diputuskan, semua kontaktor akan terlepas dan lampu H_2 terputus (mati).

4. Rangkaian Dua Lampu Indikator Dengan Penunda Waktu

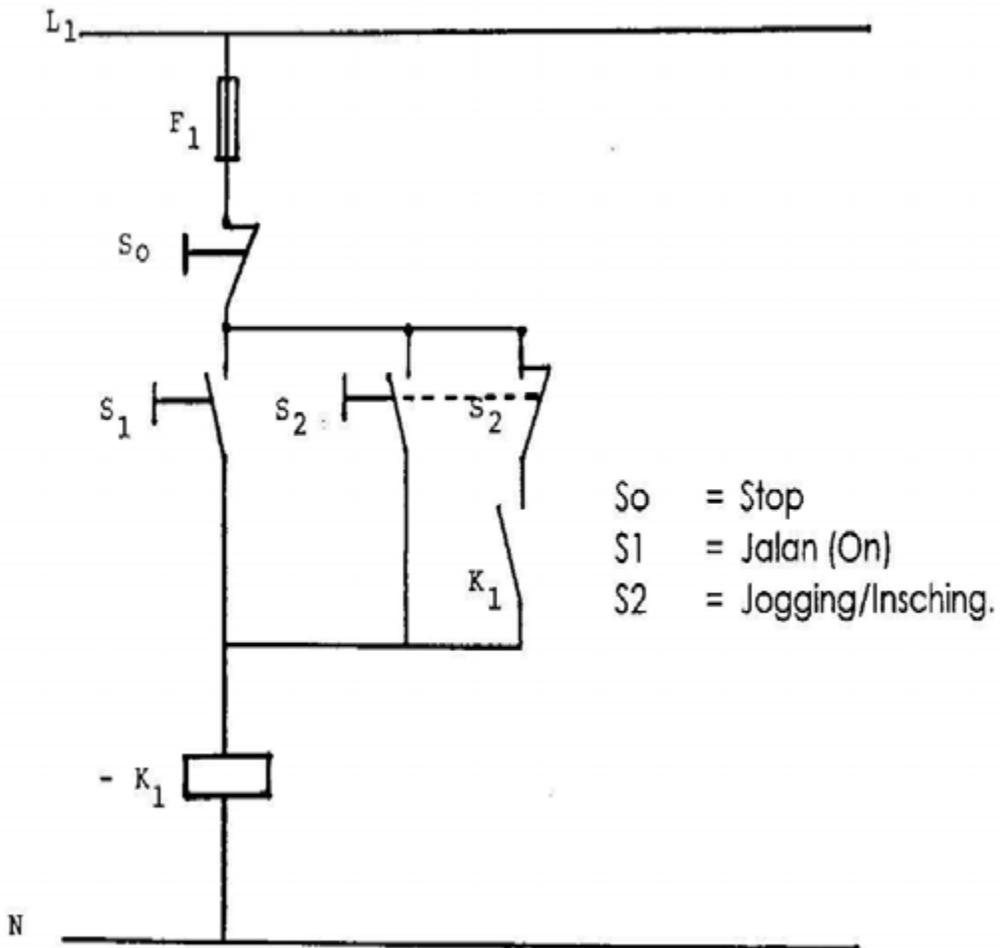
Penjelasan Fungsi :

Jika tombol S_2 ditekan, maka kontaktor K_1 bekerja dan bertahan (mengunci) sekaligus memberi tegangan pada TDR K_2. Melalui kontak K_1, kontaktor K_3 juga akan bekerja dan lampu H_2 terhubung. Setelah waktu tunda pengaturan K_2 tercapai, maka kontaktor K_3 akan terputus, demikian juga lampu H_2 akan terlepas dan lampu H_1 tersambung (nyala).

Jika tombol S_1 ditekan, kontaktor K_1 akan putus dan lampu H_1 akan terputus (mati).

5. Rangkaian Inching / Jogging

Penjelasan Fungsi :

Aplikasi rangkaian ini biasanya dipakai pada motor-motor yang perlu dijalankan sesaat, seperti pada :

- Saat memposisikan suatu bagian alat (menyetel roda gigi atau Ban Conveyor)
- Motor-motor yang baru direparasi perlu dijalankan sesaat
- Keperluan balik putaran sesaat

Kegiatan Belajar 3

Metode Starting Motor Induksi 3 Fasa

Indikator Keberhasilan:

Setelah menyelesaikan kegiatan belajar ini , diharapkan siswa dapat :

- Menjelaskan konsep starting motor induksi
- Mengindentifikasi metoda starting sesuai dengan karakteristik motor dan beban
- Mencari dan mengatasi gangguan rangkaian kontrol

A. Uraian Materi

1. Metode Starting Motor Induksi 3 Fasa

Sistem pengoprasian motor dilakukan pada saat start, running dan Stop. Keberhasilan suatu pengoperasian sebuah motor listrik bukan saja ditentukan pada " *Running Performance* " motor , tetapi juga juga ditentukan oleh " *Starting Performance* " .

Pemilihan metoda starting banyak dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti kapasitas daya motor / keperluan arus starting , torsi starting , kecepatan , jenis atau tipe motor dan macam-macam beban yang digerakkan oleh motor tersebut.

Starting Motor induksi rotor sangkar dapat dilakukan antara lain :

- **Direct on line (DOL)**

  Starting dengan metoda ini menggunakan tegangan jala-jala / line penuh yang dihubungkan langsung ke terminal motor melalui rangkaia pengendali mekanik atau dengan relay kontaktor magnit.

- **Star Delta**

  Star awal dilakukan dalam hubngan bintang dan kemudian motor beroperasi normal dalam hungan delta. Pengendalian bintang ke delta dapat dilakukan dengan sakelar mekanik Y /Δ atau dengan relay / kontaktor magnit.

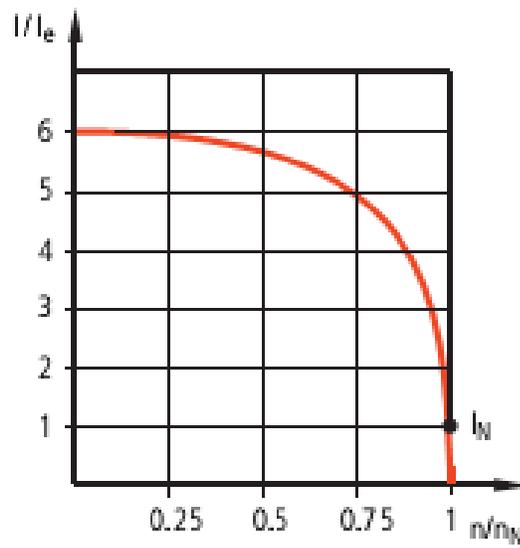
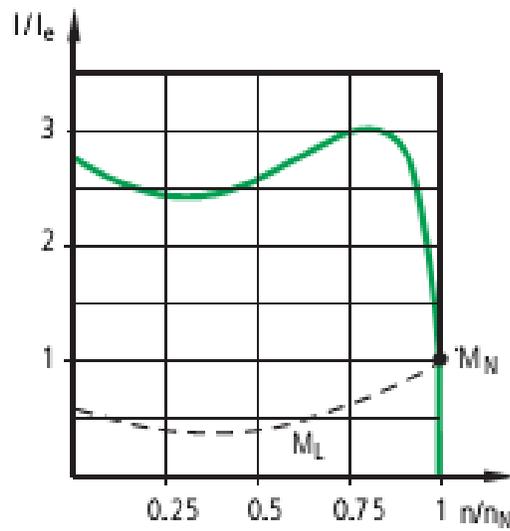
- **Starting Dengan Menggunakan Tahanan Primer (Primary Resistance)**

  Starting dengan metoda ini adalah dengan menngunakan tahanan primer untuk menurunkan tegangan yang masuk ke motor.

- **Auto Transformer**
  Starting dengan metoda ini adalah dengan menghubungkan motor pada taptegangan sekunder auto transformer terendah dan bertahap dinaikkan hingga mencapai kecepatan nominal motor dan motor terhubung langsung pada tegangan penuh / tegangan nominal motor .
- **Motor Slip Ring / Rotor lilit**.
  Untuk motor rotor lilit (Slip Ring) starting motor dilakukan dengan metoda pengaturan rintangan rotor (Scondary Resistor) . Motor beroperasi normal pada rotor dalam hubungan bintang.

Starting dengan tegangan penuh (Direct on line/DOL starter)

Karakteristik umum :

- Arus starting : 4 sampai 8 kali arus nominal
- Torsi starting : 0,5 sampai 1,5 kali torsi nominal
- Kriteria pemakaian :
  - ✓ 3 terminal motor , daya rendah sampai menengah
  - ✓ Arus starting tinggi dan terjadi drop tegangan
  - ✓ Peralatan sederhana
- Waktu total yang diperlukan untuk DOL Starting direkomendasikan tidak lebih dari 10 detik

Gambar 3. 1(a) Karakteristik arus dan kecepatan

Gambar 3.1(b) Karakteristik Torsi dan kecepatan

Harga torsi dan arus pada saat starting dapat ditentukan dari persamaan berikut :

Daya = Torsi x kecepatan sudut

= T x ω............watt

Jika

$\omega = 2\pi.Ns$, maka daya masukan motor (P_ι)

$P_\iota = 2\pi.Ns.T$ atau = K.T

Pada saat starting harga S = 1

Torsi starting (T_{ST}) = $\dfrac{K.I_{ST}^{2}}{S}$ S = 1 ⟶ $\mathbf{T_{ST} = K.I_{ST}^{2}}$

Keterangan :

K = Konstanta

ω = Kecepatan sudut

S = Slip motor

T = Torsi motor

P = Daya motor

Perbandingan Torsi starting dengan Torsi beban penuh kalau :

$$\frac{T_{ST}}{T_f} = \left(\frac{I_{ST}}{I_f}\right)^2 .S_f$$

Latihan:

Jika motor listrik 3 fasa arus startingnya 7 kali arus beban penuh dan slip motor pada beban penuh 4 % distarting pada tegangan normal dengan DOL starter. Tentukan harga Torsi Starting ?

Diketahui : $I_{ST} = I_{SC} = 7\ I_f$

$S_f = 4\ \% = 0{,}04$

Ditanyakan T_{ST} = ?

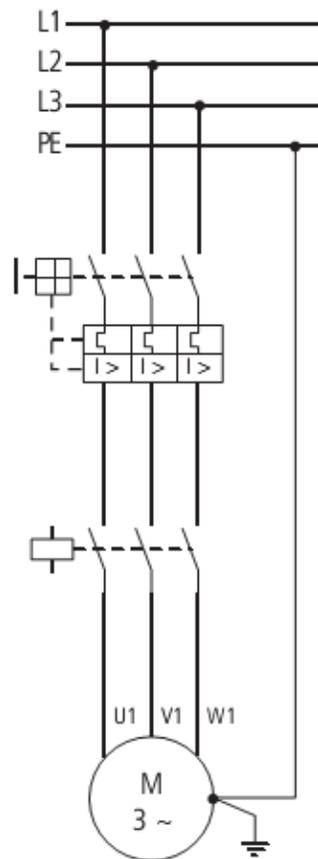
Penyelesaian :

Hasil perhitungan ini menunjukkan bahwa jika motor distarting langsung ke jala-jala (DOL), mengambil arus starting 7 kali arus beban penuh, maka torsi starting akan sama dengan 1,96 kali torsi beban penuh.

$$\frac{T_{ST}}{T_f} = \left(\frac{I_{ST}}{I_f}\right)^2 .S_f$$

$$= \left(\frac{7.I_f}{I_f}\right)^2 x\ 0{,}04^2 x\ 0{,}04$$

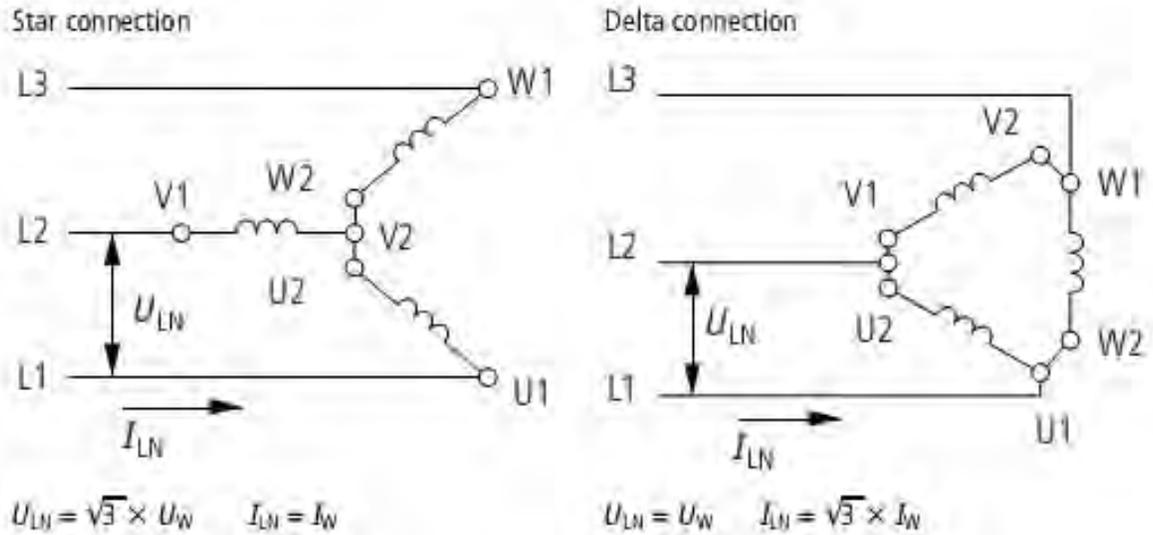
$$= 7^2 x\ 0{,}04$$

$$T_{ST} = 1{,}96.\ T_f$$

Gambar 3 .2 Starting Direct On Line

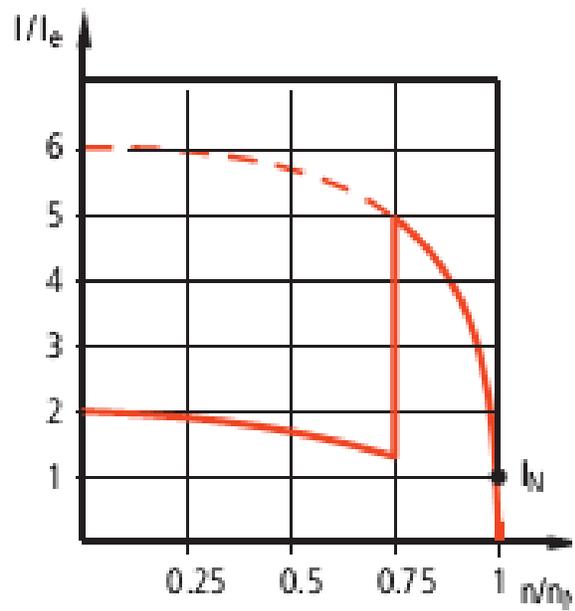
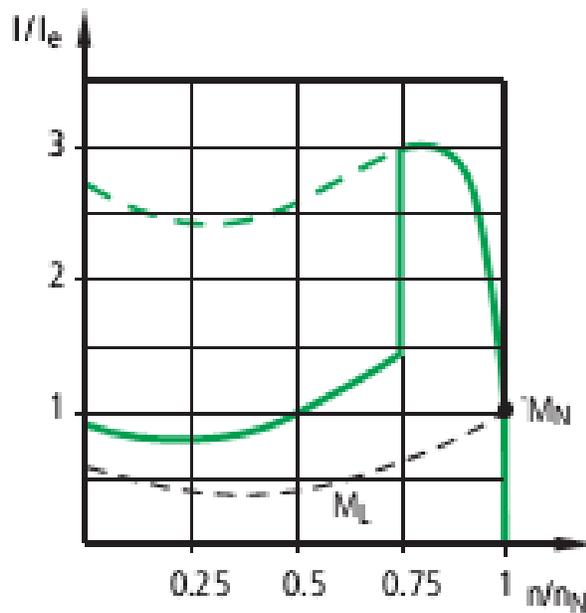
Starting Star-Delta

Metoda starting Y - Δ banyak digunakan untuk menjalankan motor induksi rotor sangkar yang mempunyai daya di atas 5 Kw (atau sekitar 7 HP). Untuk menjalankan motor dapat dipilih starter yang umum dipakai antara lain : saklar rotari Y - Δ, saklar khusus Y - Δ atau dapat juga menggunakan beberapa kontaktor magnit beserta kelengkapannya yang dirancang khusus untul rangkaian starter Y - Δ.

Perlu diingat jika pada name plat motor tertulis 220/380 V, sedangkan tegangan jala-jala yang tersedia sumber 3 fasa 380 V, maka motor tersebut hanya boleh dihubungkan bintang (Y) artinya motor berjalan normal pada hubungan bintang pada

tegangan 380 V. Motor tersebut dapat dilakukan starting Y - ∆. Apabila dihubungkan pada tegangan jala 3 fasa 220 V.

Gambar 3.3 Perbandingan tegangan hubungan bintang (Y) dan segitiga (∆)

Karakteristik Umum :

- Arus start 1,8 sampai 2,6 kali arus nominal
- Torsi start 0,5 kali torsi nominal
- Kriteria pemakaian :
  - ✓ 6 terminal motor
  - ✓ Torsi puncak pada perubahan star ke delta

Gambar 3. 4(a) Karakteristik Arus-Kecepatan

Gambar 3.4(b) Karakteristik Torsi-Kecepatan

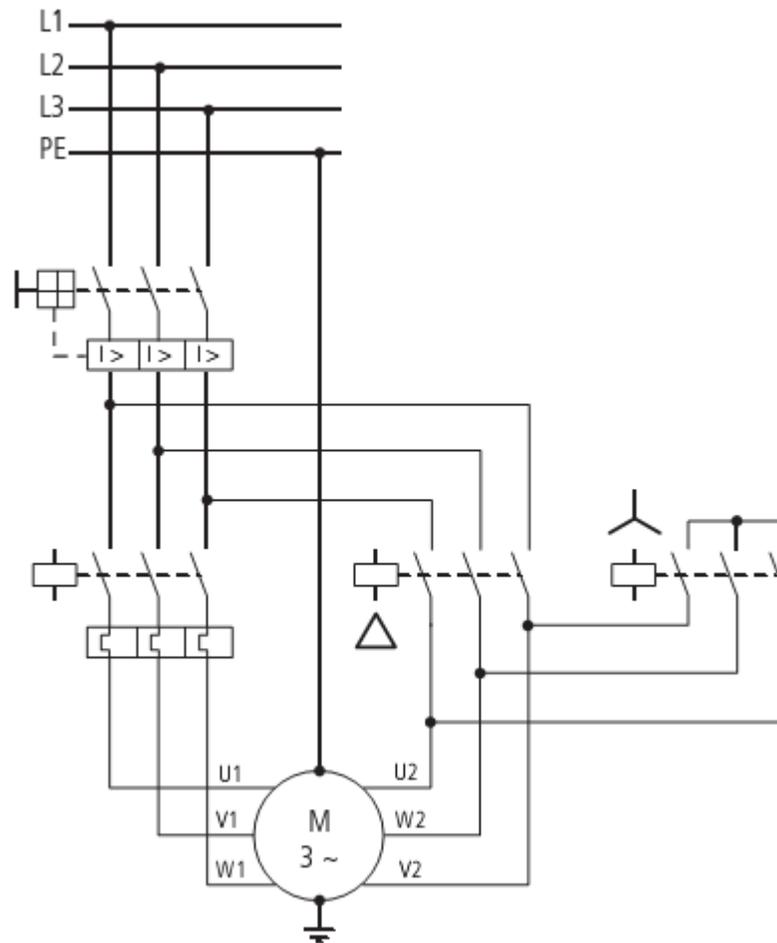
Perbandingan arus start bintang – segitiga

$$I_{ST}\ Y = \frac{V/\sqrt{3}}{Z\ fasa} = \frac{tegangan\ \ fasa}{Z\ \ fasa}$$

$$I_{ST}\ \Delta = \frac{V}{Z\ fasa}.\ \sqrt{3}$$

$$\frac{I_{ST}Y}{I_{ST}\Delta} = \frac{V/\sqrt{3}}{Z\ fasa} x \frac{Z\ fasa}{V.\sqrt{3}}$$

$$\boxed{\frac{I_{ST}\ Y}{I_{ST}\ \Delta} = \frac{1}{3}}$$

Dari hasil rumus di atas dapat dilihat bahwa besar arus pada hubungan bintang adalah 1/3 kali arus jika motor dihubungkan segitiga.

Gambar 3. 5 Starting Bintang-Segitiga

Starting Dengan Tahanan Primer (*Primary Resistance*)

Starting dengan menggunakan tahanan primer adalah suatu cara menurunkan tegangan yang masuk ke motor melalui tahanan yang disebut tahanan primer karena tahanan ini terhubung pada sisi stator. Hal ini menggunakan prinsip tegangan jatuh.

Dari gambar terlihat kalau tap berubah menjadi X volt sehingga berlaku persamaan :

$$I\ start = X\ I_{SC}\ dan\ T\ start\ =\ X^2\ T_{SC}$$

$$\frac{T\ start}{T_f} = \left(\frac{I\ start}{I_f}\right)^2 .\ S_f$$

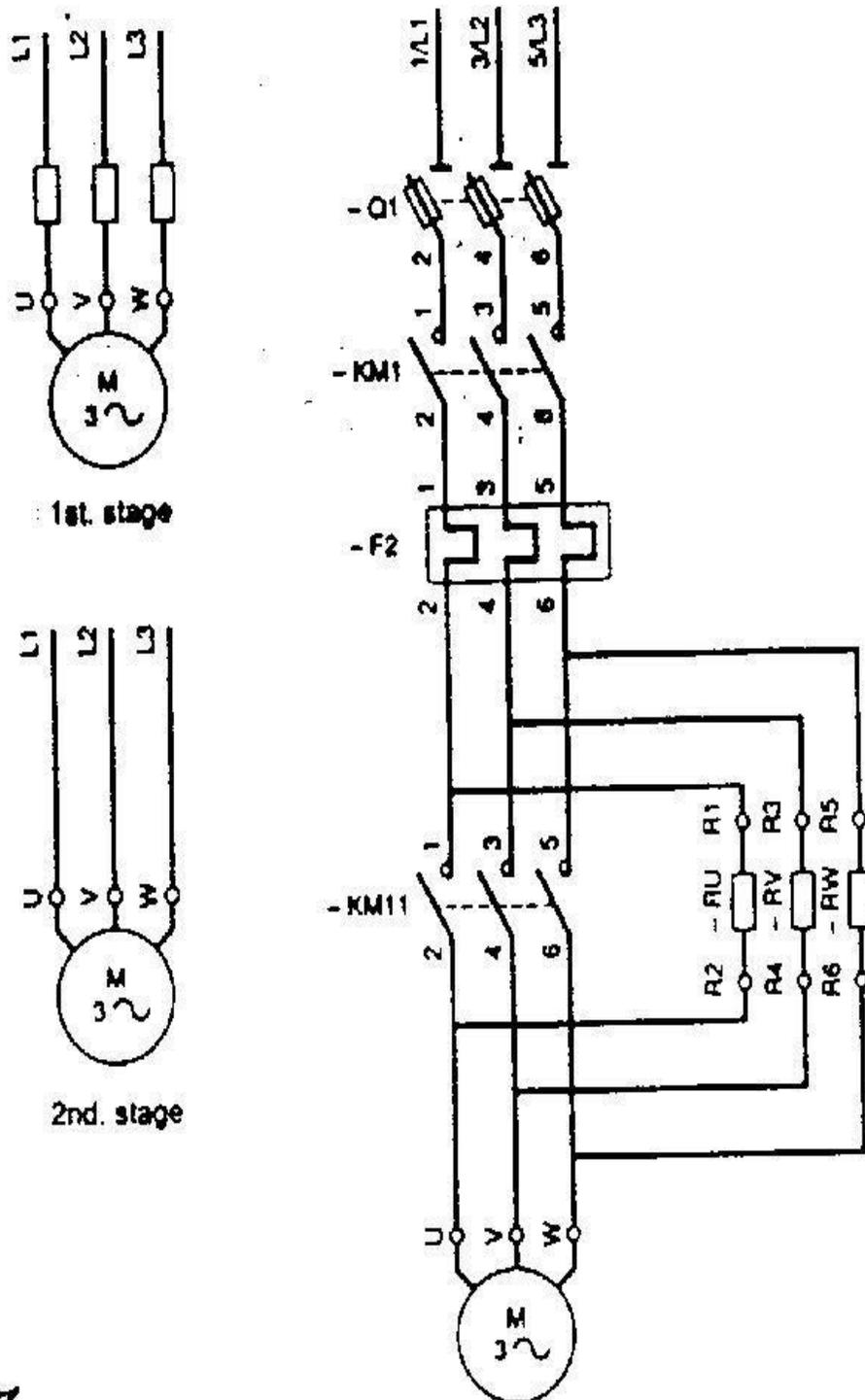
$$= \left(\frac{X\ I_{SC}}{I_f}\right)^2 .\ S_f$$

$$= X^2 \left(\frac{I_{SC}}{I_f}\right)^2 .\ S_f$$

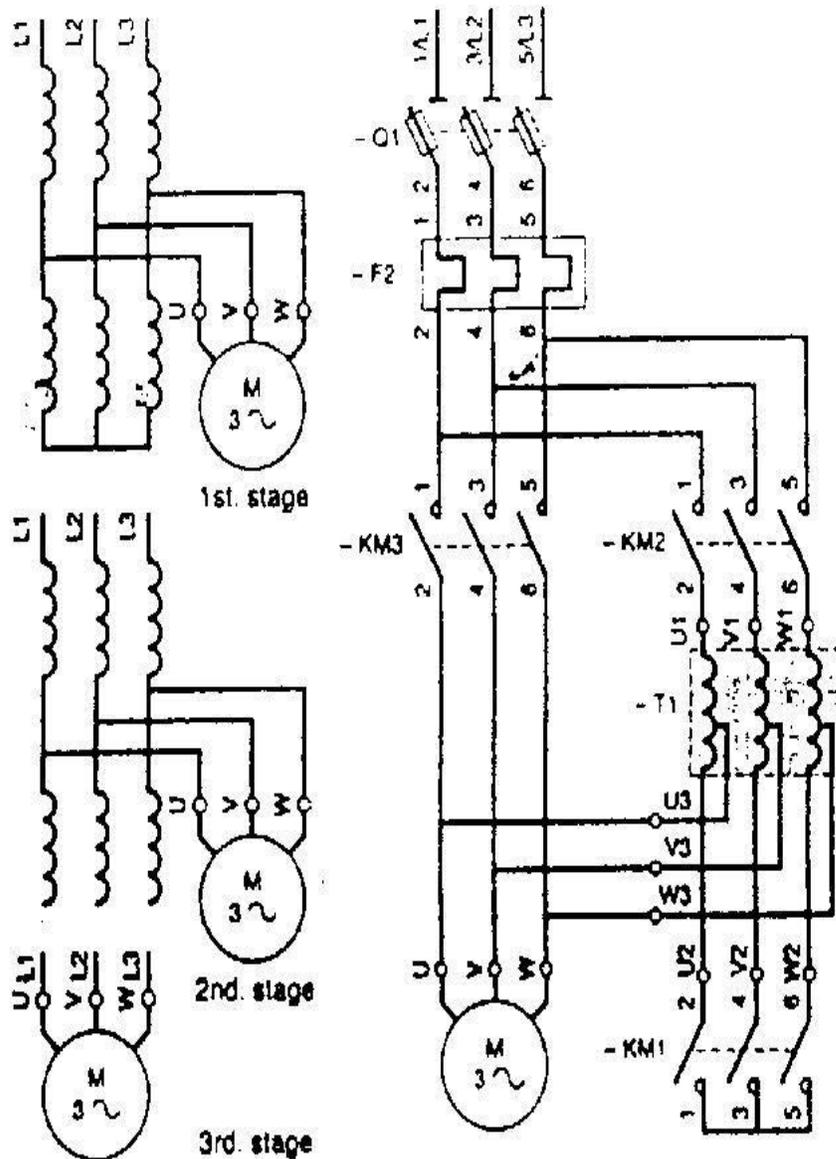
$$= X^2 .\ a^2 .\ S_f$$

Perbandingan torsi dengan torsi beban penuh :

$$\frac{I_{ST}}{T_f} = X^2 .\ a^2 .\ S_f$$

Penggunaan metoda starting ini banyak digunakan untuk motor-motor kecil.

Gambar 3. 6 Starter dengan Tahanan Primer (Primary Resistance Starter)

Starting Dengan Auto transformer (*Auto Transformer Starting*)

Starting dengan cara ini adalah dengan menghubungkan motor pada tahapan tegangan sekunder auto transformer terendah. Setelah beberapa saat motor dipercepat, transformator diputuskan dari rangkaian dan motor terhubung langsung pada tegangan penuh.

Gambar 3. 7 Starter dengan Auto-Transformer

Transformator dibuat dari sejumlah tahapan tegangan sekunder yang biasanya 83 %, 67 % dan 50 % dari tegangan primer.

Jika perbandingan taapan tegangan = k, maka pasa tap 67 % k = 0,67. Ini berarti bahwa tegangan pada motor akan sama dengan kali tegangan jaring atau sama dengan k. V volt

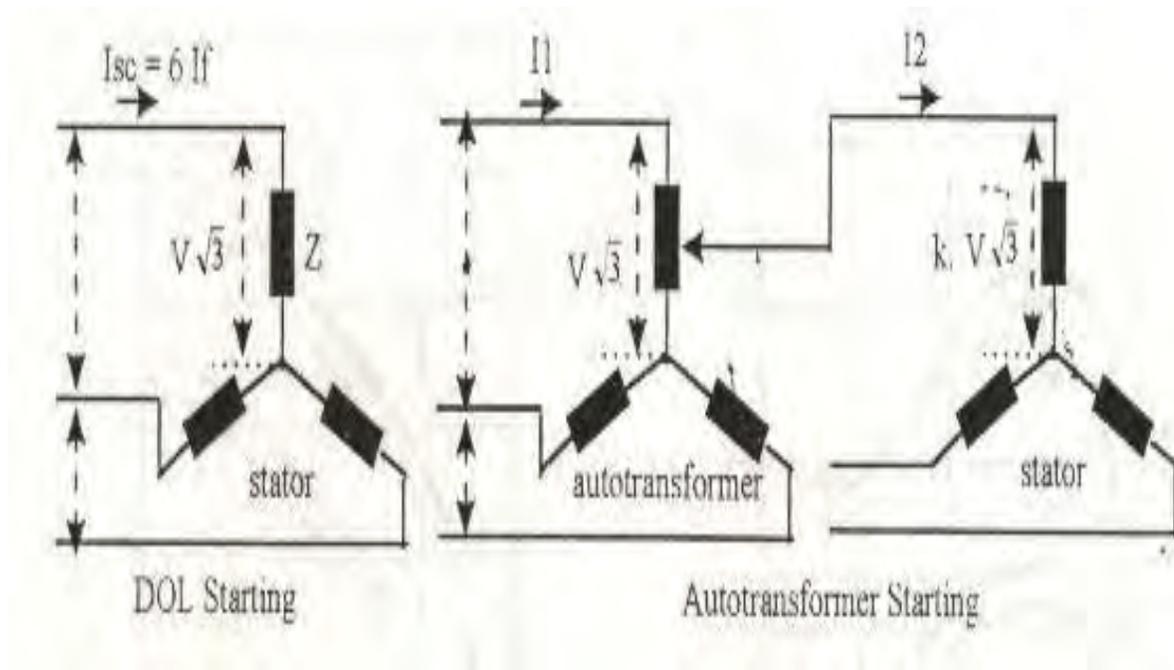
Arus yang diambil motor akan menjadi k kali bila motor tersebut distarting langsung ke jala-jala (DOL starting) yang sama dengan k.I

Dengan mengabaikan arus magnetisasi transformator, arus primer yang diambil sama dengan k kali arus sekunder yang sama dengan k^2 I. Jadi k^2 adalah penurunan arus aktual motor jika distarting dengan auto transformer starting.

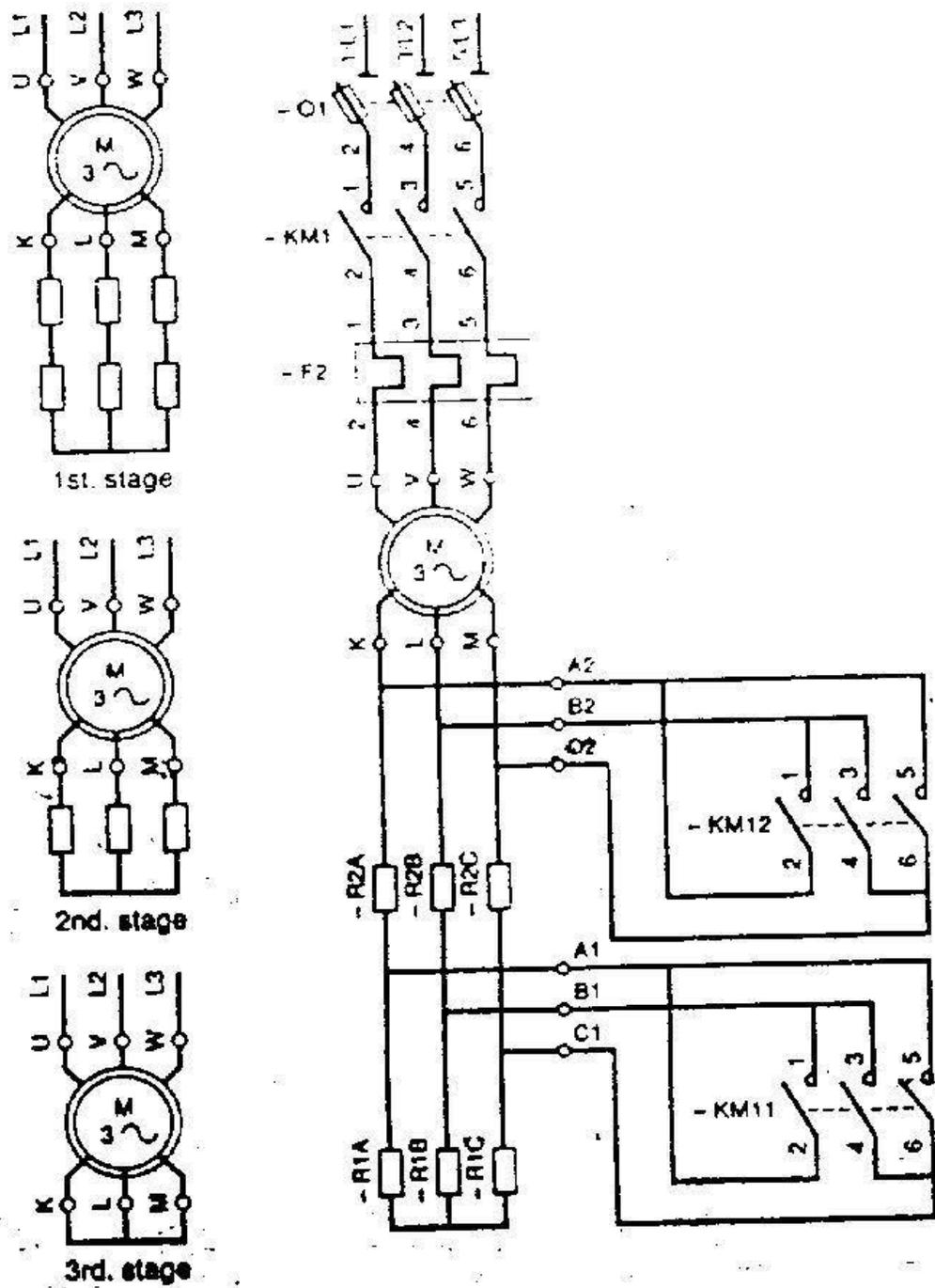
Sebagai contoh :

Jika motor distart langsung ke jala-jala mengambil arus 600 % kali arus beban penuh. Pada tap 67 %, arus pada terminal motor akan sama dengan 400 %, akan tetapi arus primer pada waktu starting akan sama dengan k kali 400 % atau sama dengan 267 % dari arus beban penuh ini adalah arus yang diambil dari sistem suplay.

Torsi starting sebanding dengan kuadrat arus motor.
Pada tap dengan perbandingan tegangan k, torsi akan menjadi k^2 kali torsi starting yang dihasilkan pada waktu motor distarting langsung ke jala-jala. Pada tap 67 %, torsi starting akan menjadi 67 % kuadrat atau sama dengan 45 % dari harga torsi DOL.

Keuntungan dari metoda starting ini adalah tegangan motor pada saat distart pada kondisi torsi yang telah besar daripada metoda starting dengan tahanan primer (*primary resistance starting*), pada penurunan tegangan yang sama dan arus jaringan yang sama.

Gambar 3. 8 Diagram hubungan arus dan tegangan pada DOL starting dan Auto Transformer starting

Starting Dengan Pengaturan Tahanan Rotor

Metoda lain untuk menurunkan arus starting (I_2) adalah dengan menggunakan tahanan (R) yang dihubungkan pada rangkaian rotor. Starting ini hanya dapat dipakai untuk motor induksi motor rotor lilit (motor slip ring), sedangkan untuk motor induksi rotor sangkar hal ini tidak bisa dilakukan.

Gambar 3. 9 Starter dengan mengatur Tahanan Rotor

Motor induksi rotor lilit juga disebut motor induksi cincin geser (slipring), rotornya mempunyai lilitan yang dihubungkan ke tahanan luar. Pada waktu starting, motor dihubungkan dengan tahanan (Rheostat) dengan harga R yang maksimum. Setelah motor running, maka rheostat dihubung singkat.

Pada saat motor diam slip = 1

Jadi $f_2 = f_1$

Arus motor $I_2 = \dfrac{E_2}{Z_2} = \dfrac{E_2}{\sqrt{R_2{}^2 + X_2{}^2}}$

Pada saat rotor bergerak harga slip mulai berkurang dari slip = 1 sampai pada suatu harga slip beban penuh.

Perubahan slip : $S = \dfrac{n_s - n_r}{n_s} \; x \; 100 \; \%$

$$n_r - r_r = S.\, n_s$$

$$n_r = n_s - S.\, n_s$$

$$n_r = n_s \; (1 - S)$$

$$n_r = \frac{120 \; f}{P} \; (1 - S)$$

Sewaktu diam, reaktansinya $X_2 = 2\,\pi f_2 \,.\, L_2 = 2\pi f L_2 = X_2$

Pada saat berputar, reaktansinya $X = 2\,\pi f_2 .s.\, L_2 = 2\pi .\, f_2 \; L_2 = s.\, X_2$

Latihan :

Motor induksi 4 kutub dipasang pada jala-jala dengan frekuensi f = 50 Hz, putaran motor = 1455 rpm. Hitung beban slip dan f_z ?

Jawab :

$$n_r = \frac{120\ f}{P}\ (1 - S)$$

$$1445 = \frac{6000}{4}\ (1 - S)$$

$$1445 = 1500\ (1 - S)$$

$$S = \frac{1500 - 1445}{1500}$$

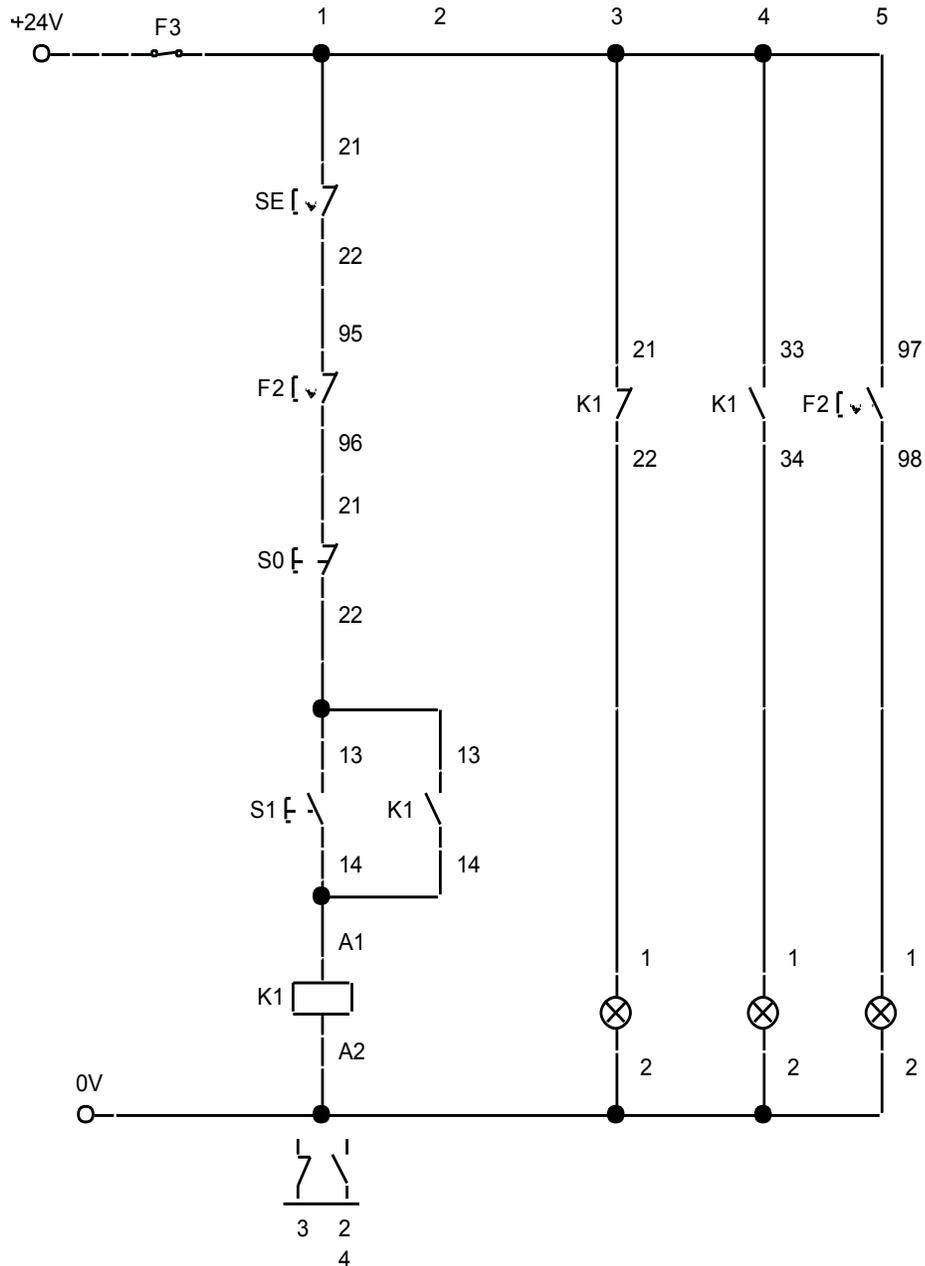
Slip : $S = 0{,}03$

$$f_2 = S\ .\ f$$

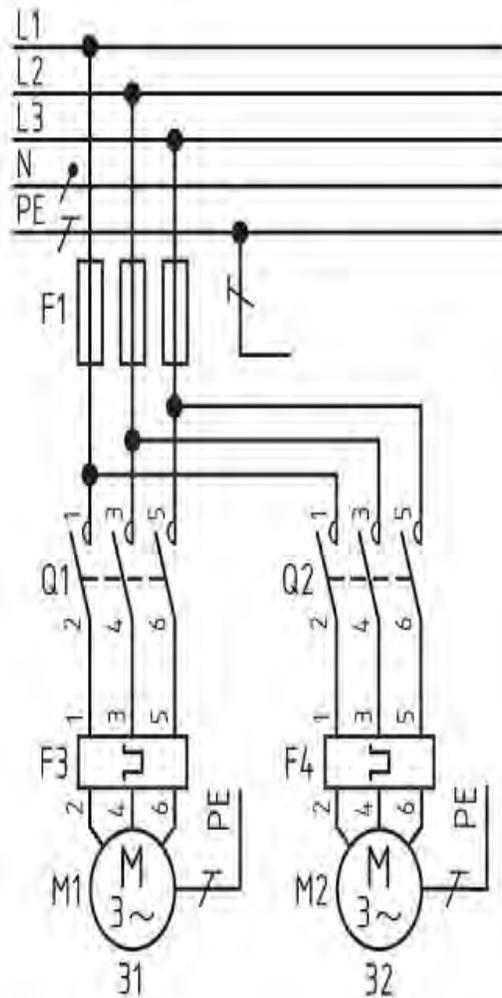
$$= 0{,}03\ x\ 50$$

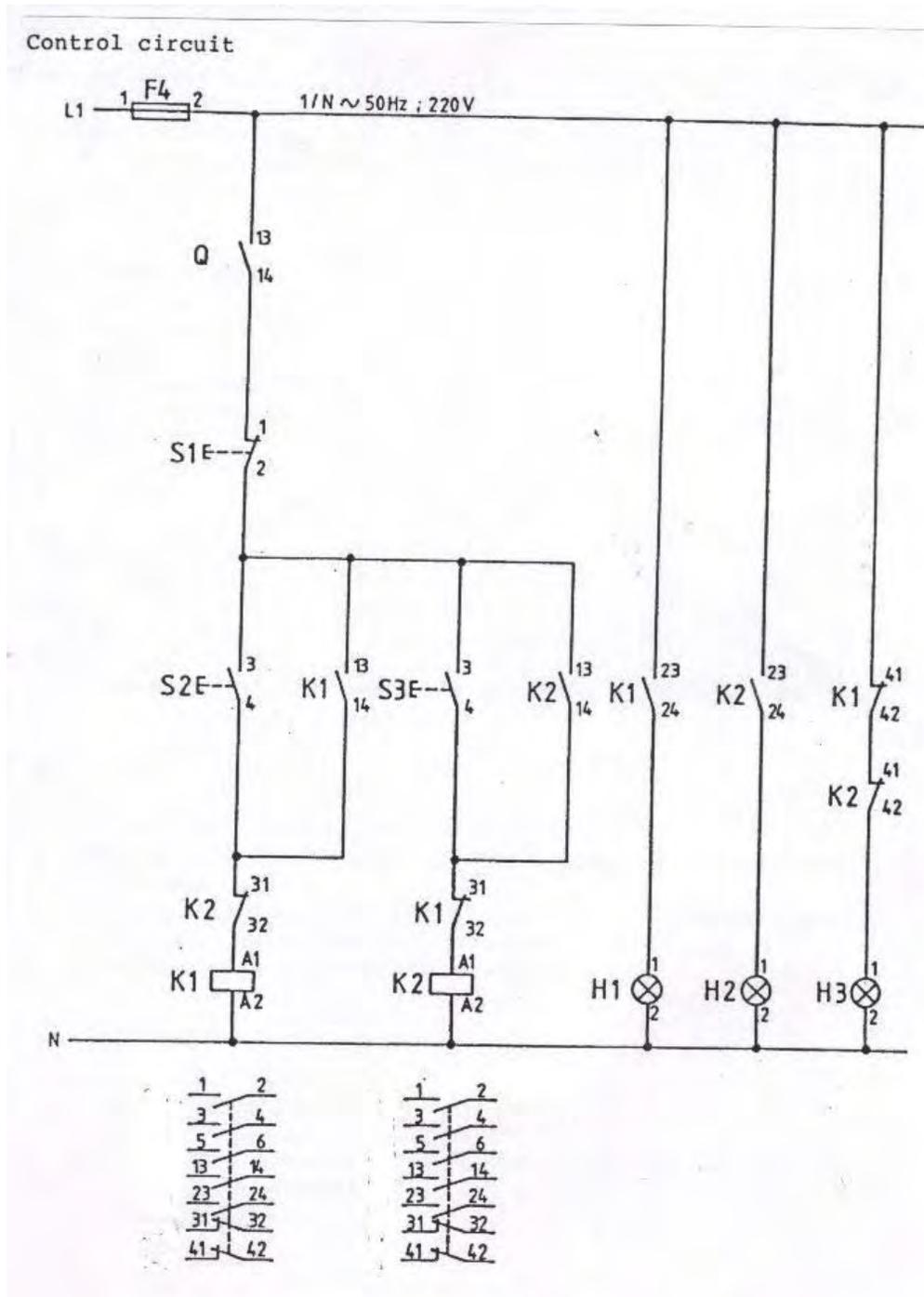
frekuensi rotor f_2 = 1,5 Hz

B. Tugas Praktek

1. Starting Dengan Tegangan Penuh (DOL Starting)

Penjelasan Fungsi :

Pada rangkaian ini jika tombol S_2 ditekan motor 1 akan bekerja, jika S_3 ditekan motor 1 berhenti dan motor 2 bekerja.

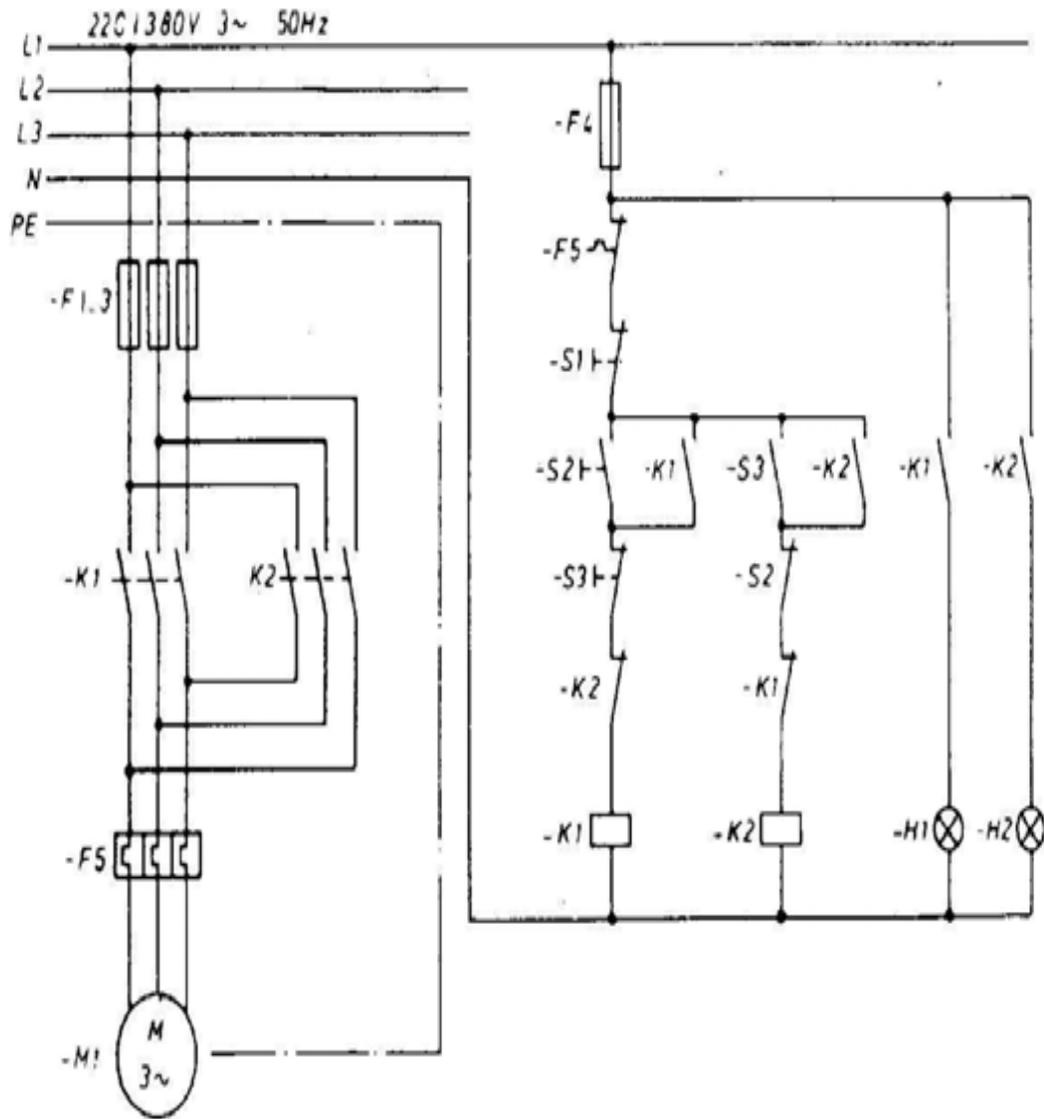
Jika S_1 ditekan atau bila terjadi beban lebih pada motor semua sistem akan berhenti.

Q_1; Q_2; Kontaktor
F_1 Fuse Daya
F_2 Fuse Kontrol
F_3, F_4 *Thermal overload* relay
B_1 Tombol *Proximity Switch*
S_2 Tombol *ON*
S_3 Tombol *OFF*
A_1,A_2 Koil kontaktor
M1 M2 Motor induksi 3 phasa

Control circuit
L1
F4
1/N ~ 50Hz ; 220V
Q
S1
S2
K1
S3
K2
K1
K2
K1
K2
K2
K1
K1
K2
H1
H2
H3
N

2. Starting Reverse – Forward Motor 3 Fasa

Penjelasan Fungsi :

Jika tombol S_2 ditekan, kontaktor K_1 bekerja dan mengunci, motor akan berputar arah kanan dan lampu H_1 menyala. Jika tombol S_3 ditekan, kontaktor K_1 lepas. Kontaktor K_2 akan bekerja, motor ber operasi arah kiri dan lampu H_2 menyala.

Jika S_1 ditekan atau rele arus lebih F_5 bekerja, maka semua kontaktor yang sedang bekerja terputus dan motor akan terlepas dari jala-jala (berhenti) kontaktor satu dan lainnya saling mengunci.

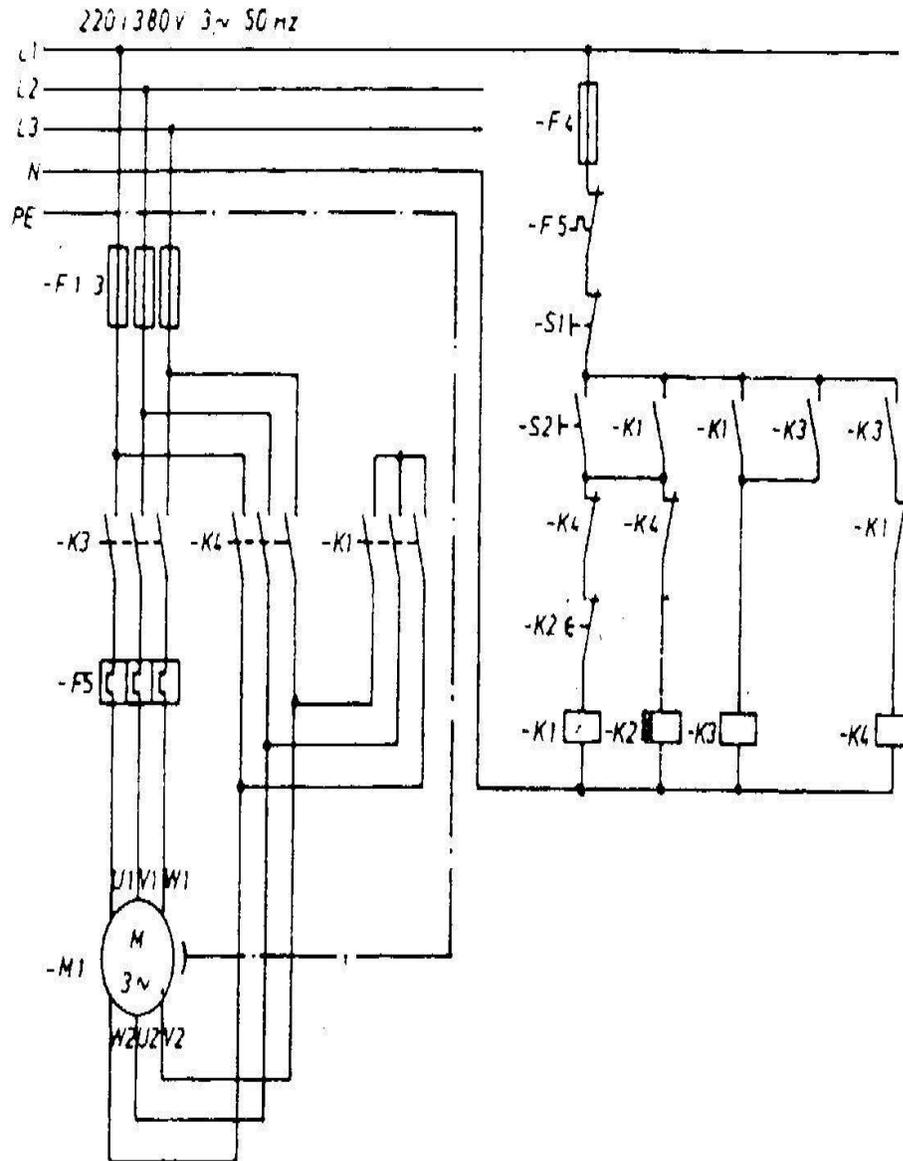
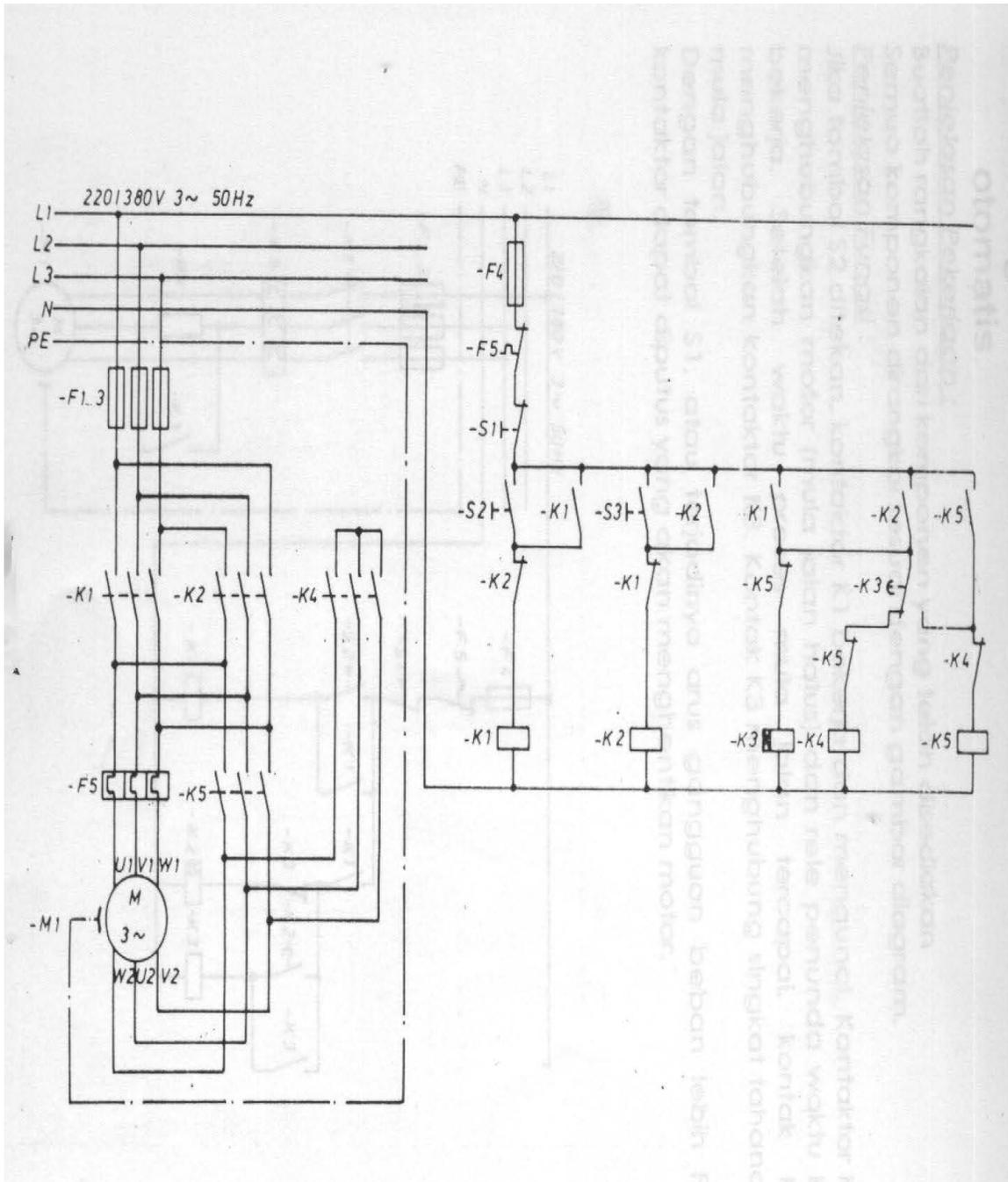
220/380V 3~ 50Hz
L1
L2
L3
N
PE
-F1..3
-F4
-F5
-S1
-S2
-K1
-S3
-K2
-K1
K2
-S3
-S2
-K2
-K1
-K1
-K2
-H1
-H2
-F5
-M1
M
3~

3. Starting Star – Delta (Bintang-Segitiga)

Penjelasan Fungsi :

Dari gambar yang diperlihatkan dibawah ini, dapat dianalisa bahwa :

Dengan menekan tombol start S_2 , kontaktor K_1 akan bekerja dan mengunci. Kontaktor K_1 menghubungkan motor dalam hubungan Y dan kontaktor K_3 menghubungkan motor pada jala-jala. Rele penunda waktu K_2 bekerja, setelah waktu tunda K_2 tercapai, maka arus ke lilitan K_1 terputus dan hubungan Y motor terlepas. Pada waktu kontaktor K_1 terputus sekaligus akan menghubungkan kontaktor K_4. Motor beroperasi dalam hubungan segitiga selama motor bekerja dalam hubungan segitiga rele penunda waktu tidak bekerja.

Dengan menekan tombol stop S_1, arus listrik ke rangkaian kontrol terputus dan motor terpisah dari tegangan jala-jala.

220/380V 3~ 50Hz
L1
L2
L3
N
PE
-F1 3
-F4
-F5
-S1
-S2
-K1
-K3
-K4
-K2
-F5
-K3
-K4
-K1
-K1
-K2
-K3
-K4
U1 V1 W1
-M1
M
3~
W2 U2 V2

4. Starting Start-Delta Reverse – Forward

5. Starting Motor 3 Fasa Rotor Lilit

Penjelasan Fungsi :

Jika tombol S_2 ditekan dan kontaktor K_2, K_4 dan K_6 dalam posisi tidak bekerja, maka kontaktor K_1 akan bekerja dan mengunci.

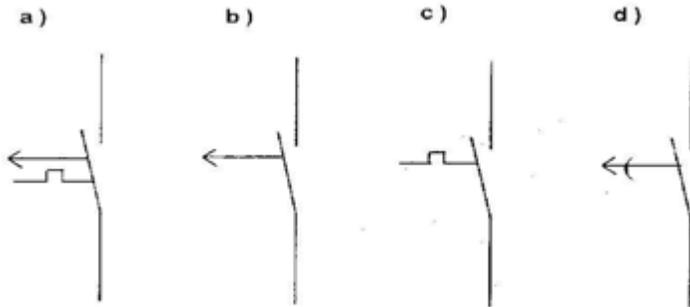
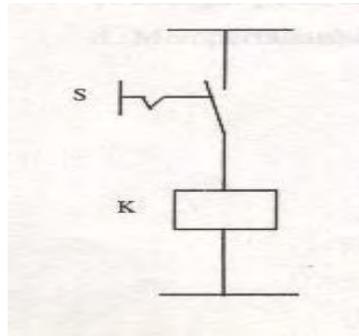
Kontaktor K_1 akan menghubungkan rele waktu K_7 dan motor sudah terhubung dengan jala-jala. Setelah waktu penundaan tercapai kontak K_7 akan mengaktifkan kontaktor K_6. Kontaktor K_6 akan mengunci dan menghubung singkat tahanan R_1, R_2 dan R_3, pada waktu yang sama, rele waktu K_5 bekerja. Kalau waktu penundaan K_5 tercapai, maka kontak K_5 akan mengaktifkan kontaktor K_4. Kontaktor K_4 mengunci, sekaligus melepas K_6, bersamaan dengan itu rele waktu K_5 dan K_7 lepas, dan rele waktu K_3 bekerja menghubung singkat tahanan R_4, R_5, R_6.

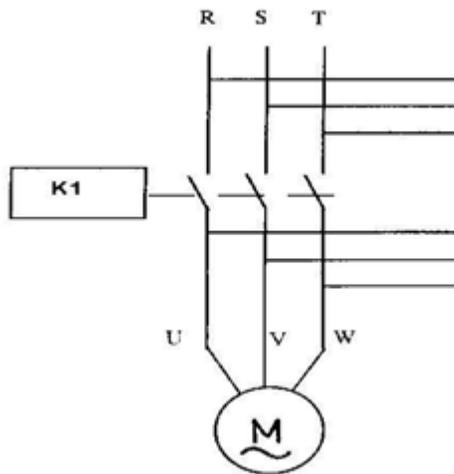
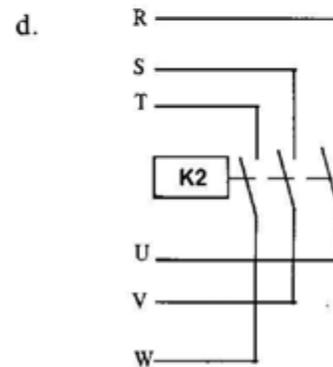
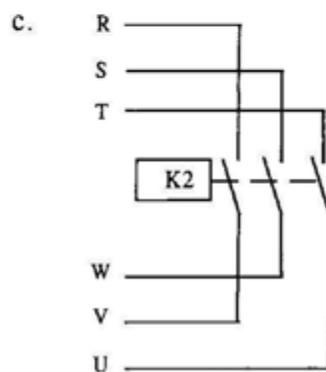
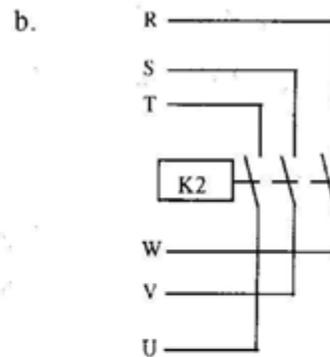
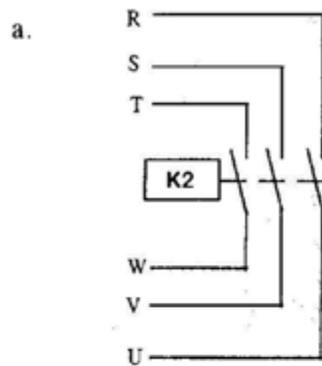
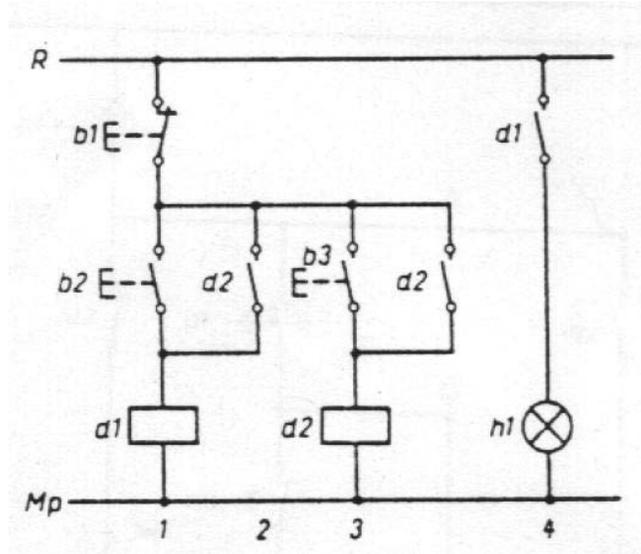
Jika waktu penundaan K_3 tercapai, kontak K_3 (NO) akan mengaktifkan kontaktor K_2 dan mengunci sendiri. Kontaktor NC K_2 seri K_4 terputus dan sekaligus memutus arus lilitan rele waktu K_3, pada posisi ini lilitan motor akan terhubung singkat (semua tahanan luar terlepas).

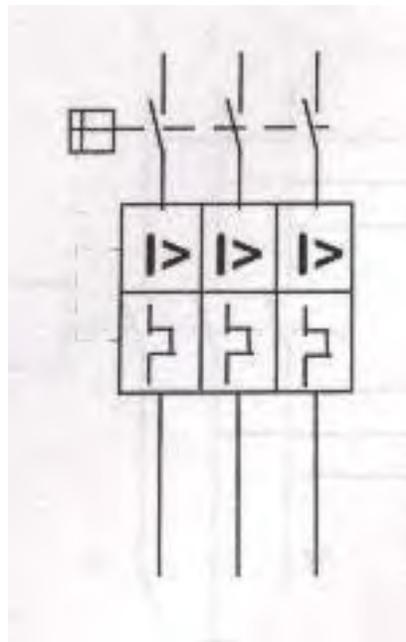
Dengan menekan tombol S_1 akan melepas semua kontaktor dan rele waktu yang sedang bekerja, sehingga semua rangkaian terlepas dari tegangan.

C. Evaluasi

Tugas 1

1. Gambar simbol lengan kontak MCB untuk jenis pemutusan segera adalah :

2. Gambar diagram kontrol berikut ini menunjukkan :

   a. Kontaktor terus bekerja setelah tombol ditekan
   b. Kontaktor tidak bekerja jika tombol berhenti ditekan
   c. Kontaktor akan bekerja selang beberapa saat setelah tombol ditekan
   d. Jika tombol ditekan kontaktor tidak bekerja

3. Suatu motor tiga fasa pada plat nama tertera U = 220/380 V, maksudnya adalah motor tersebut harus disambungkan secara :
   a. Hubungan segitiga jika tegangan jaringan 127/220 V
   b. Hubungan segitiga jika tegangan jaringan 220 V
   c. Hubungan Bintang pada tegangan jaringan 380 V
   d. Jawabaan a,b,dan semua benar

4. Untuk membalik arah putaran motor dari gambar di atas, maka sambungan kontaktor K2 adalah :

5. Rangkaian pengendali berikut ini yang menandakan lampu indikator menyala bila :

   a. b1 ditekan
   b. b1 dan b2 ditekan
   c. b2 ditekan
   d. b3 ditekan

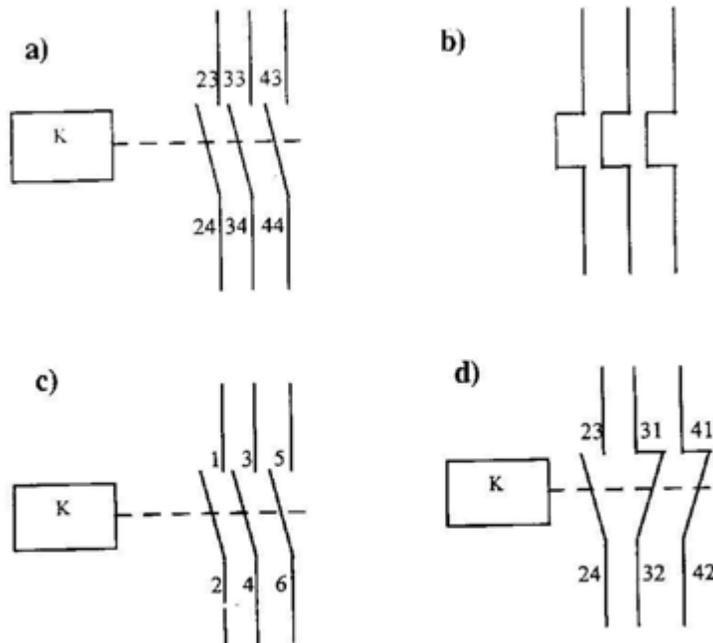
6. Gambar di bawah ini adalah simbol gambar :

a. Pemutus daya tiga fasa yang berdasarkan arus lebih
b. Pemutus daya tiga fasa yang berdasarkan thermal
c. Pemutus daya tiga fasa yang berdasarkan tegangan lebih
d. Pemutus daya tiga fasa berdasarkan arus lebih dan thermal

7. Menjalankan motor dengan cara DOL (Direct On Line) adalah :
   a. Motor dihubungkan dengan jaringan melalui tahanan pengasut
   b. Motor dihubungkan dengan jaringan melalui sakelar Y-Δ
   c. Motor dihubungkan langsung dengan jaringan
   d. Motor dihubungkan dengan jaringan melalui auto transformator

8. Motor induksi empat kutub, 50 Hz, mempunyai slip pada beban penuh 4 %, maka putaran rotornya adalah :
   a. 60 r/m
   b. 1440 r/m
   c. 1500 r/m
   d. 1560 r/m

9. Daya pada poros motor 3 fasa, 380 Volt, 3,6 A dipakai untuk memutar pompa 1,5 kW. Jika efisiensi motor 0,8 maka daya inputnya adalah :
   a. 1,06 kW
   b. 1,20 kW
   c. 1,33 kW
   d. 1,87 kW

10. Pada pengasutan Y-Δ, hubungan kumparan motor ke jaringan adalah :
    a. Start hubungan Δ, kerja hubungan Y
    b. Start hubungan Y, kerja hubungan Δ
    c. Start hubungan Δ, kerja hubungan Δ
    d. Start hubungan Y, kerja hubungan Y

11. Simbol kontak utama dari kontaktor yang dipakai dalam penyambungan rangkaian pengendali adalah :

12. Sebuah MCB 3 fasa memiliki kapasitas pemutusan 25 kA artinya :
    a. Mampu dilewati arus hubung singkat sampai batas 25 kA
    b. Mampu dilewati arus hubung singkat sampai batas 10 A
    c. Rusak jika dilewati arus hubung singkat sebesar 25 kA
    d. Mampu dilewati arus hubung singkat sebesar 10 x 25 kA

Tugas 2

Analisa rangkaian dibawah ini dan buat kesimpulan :

Soal 1 :

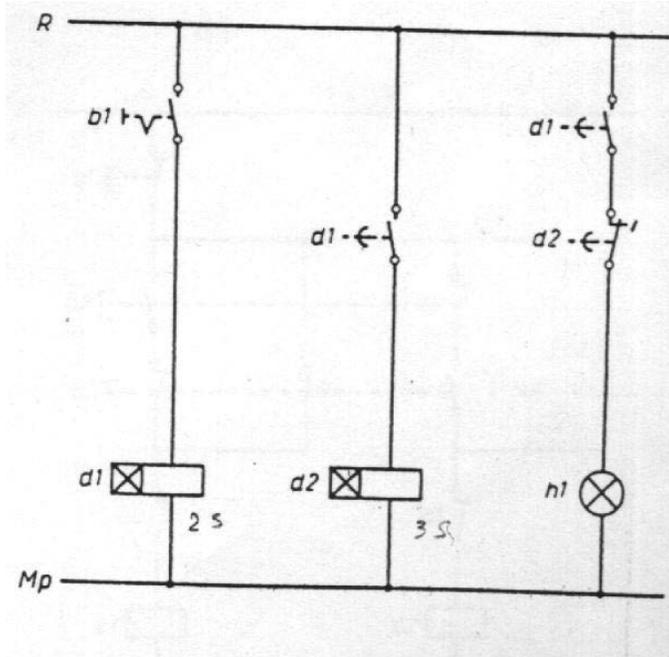
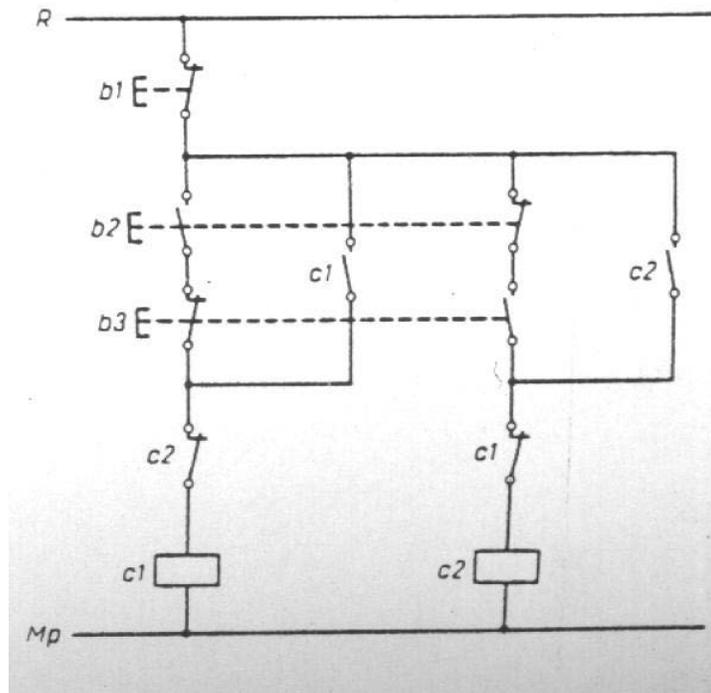
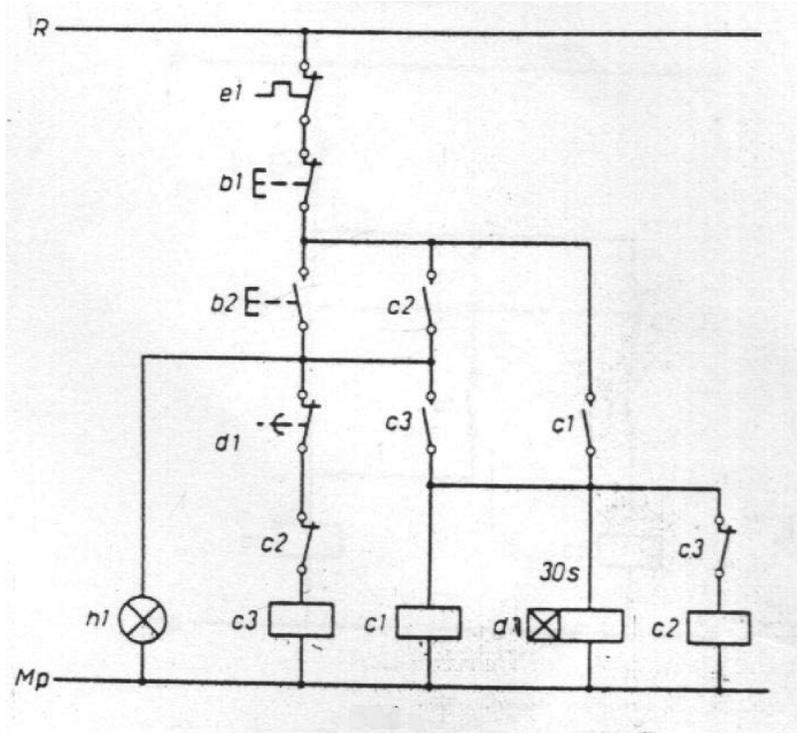
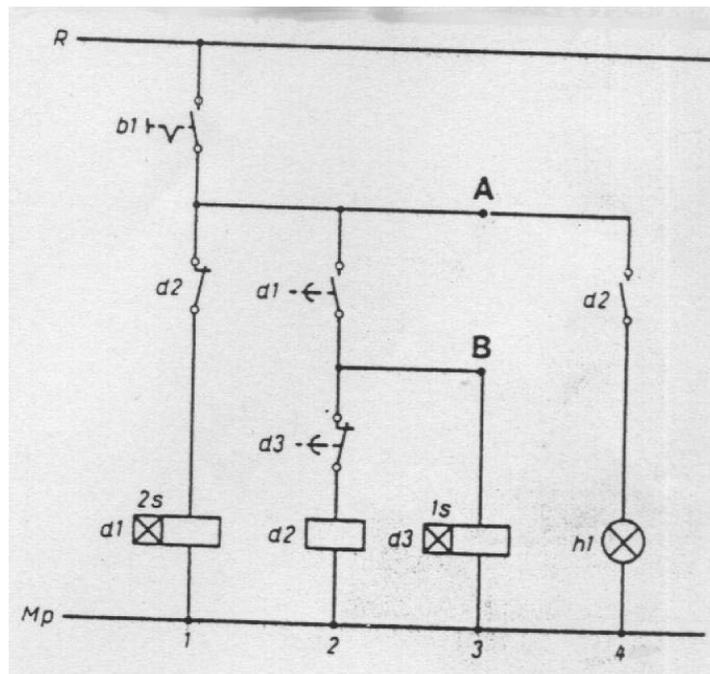
Soal 2 :

Soal 3 :

R
e1
b1
b2
c2
d1
c3
c1
c2
30s
c3
h1
c3
c1
c2
Mp

Soal 4 :

.

R
b1
A
d2
d1
d2
B
d3
2s
1s
d1
d2
d3
h1
Mp
1
2
3
4

Kegiatan Belajar 4
Prinsip Dasar Troubleshooting

Indikator Keberhasilan:

Setelah menyelesaikan kegiatan belajar ini , diharapkan siswa dapat :

- Mengidentifikasi komponen dasar-dasar troubleshooting pada sistem pengendali elektromagnetik.
- Menjelaskan teknik troubleshooting pada sistem pengendali elektromagnetik.
- Menggunakan berbagai pengukuran peralatan dan fungsinya.
- Mengidentifikasi perbedaan metoda pengujian pada sistem pengendali elektromagnetik

A. Uraian Materi

1. Prinsip dasar troubleshooting rangkaian

Mengidentifikasi bagian kesalahan, ikuti panduan yang diberikan dibawah ini, dengan gambar dan alat ukur :

- Pertama periksa tegangan suplay
- Periksa tegangan pada setiap titik rangkaian
- Lakukan pengujian tanpa tegangan pada rangkaian untuk kesempurnaan peralatan proteksi dan yang lainnya.
- Pengujian tanpa tegangan, periksa kontinuitas rangkaian, dan periksa tahanan isolasi.
- Jika tidak memungkinkan untuk melakukan pengujian tanpa tegangan, hubungkan sumber tegangan pada rangkaian dan lakukan pengujian dengan tegangan.

Secara umum, setiap rangkaian motor starting dapat dibedakan menjadi dua bagian :

- Rangkaian daya
- Rangkaian kontrol

Sebaiknya yang pertama diperiksa rangkaian daya. Jika rangkaian daya bekerja, selanjutnya lakukan troubleshooting pada rangkaian kontrol.

Daftar pemeriksaan rangkaian daya :

- ✓ Daya yang masuk pada rangkaian dan kelengkapannya
- ✓ Periksa keakuratan fungsi peralatan proteksi
- ✓ Periksa kontinuitas kabel
- ✓ Periksa adanya tanda percikan api atau bau terbakar pada peralatan

Daftar pemeriksaan rangkaian pengendali (kontrol) :

- ✓ Pertama daya rangkaian pengendali (kontrol)
- ✓ Periksa kelayakan fungsi relay, timer, dan saklar
- ✓ Periksa kontinuitas kabel
- ✓ Periksa hubungan kawat dan hubungan terminal rangkaian
- ✓ Periksa urutan operasi logik kontaktor
- ✓ Periksa jangka waktu pengesetan timer

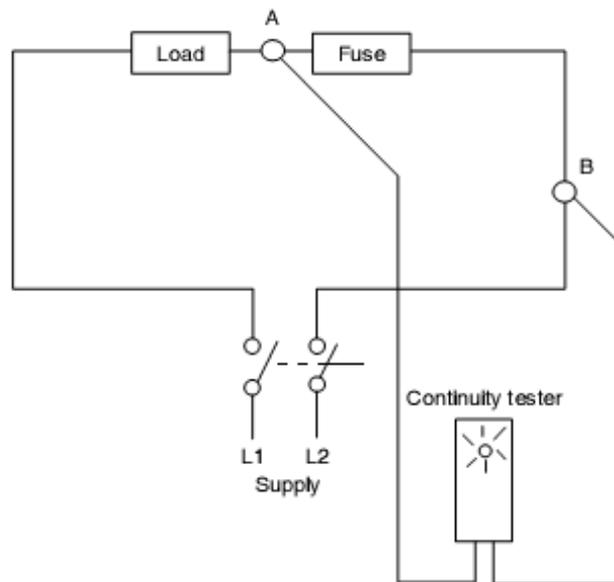
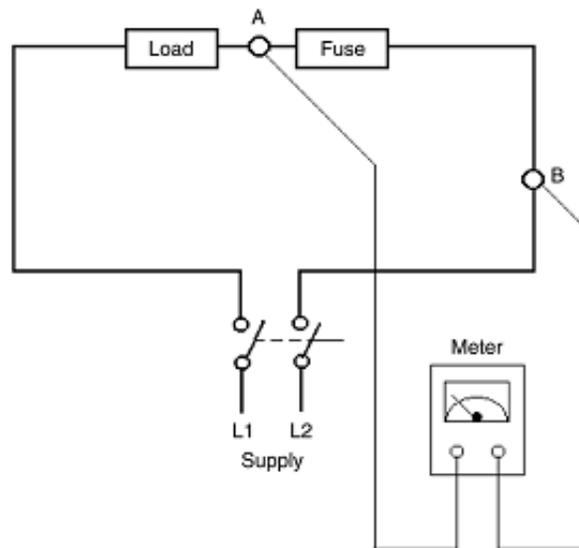
Jika kriteria diatas telah diperiksa dan motor tidak bekerja (peralatan akhir), selajutnya lakukan pengujian pada motor.

2. Pengujian kontinuitas rangkaian

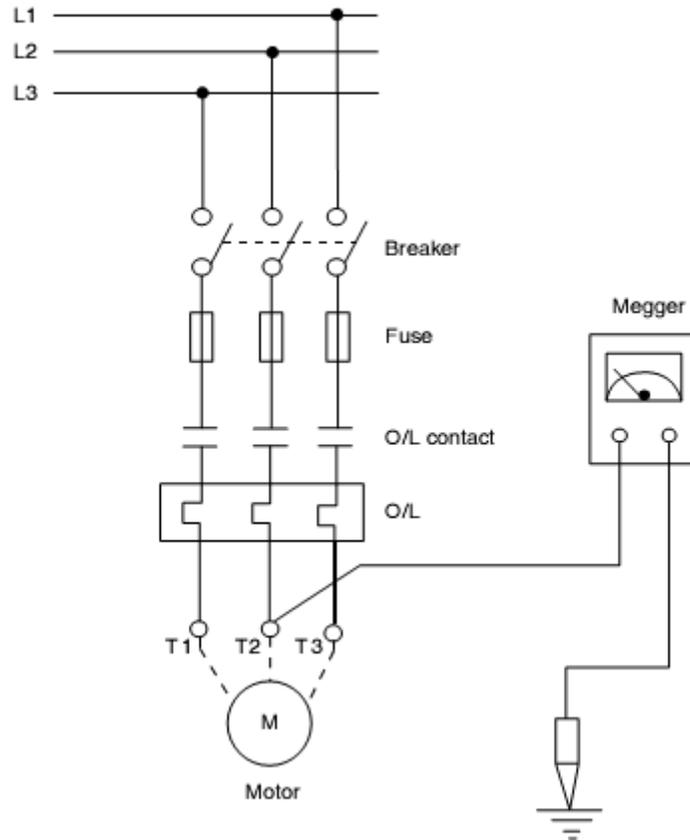
Pengujian tanpa tegangan adalah pengujian yang dilakukan dengan tidak menghubungkan sumber tegangan pada rangkaian. Pengujian kontinuitas seperti pengujian isolasi dapat dilakukan dengan pengujian tanpa tegangan.

(a) Pengujian kontinuitas

Pengujian ini dilakukan dengan rangkaian tanpa tegangan untuk pengujian kontinuitas. Dengan menggunakan 'tester kontinuitas audio' dapat dilakukan. Tester ini terdiri dari batere sebagai sumber energi, dan peralatan audio, dan dua kabel penguji. Gambar 4-1 memperlihatkan contoh pengujian dengan tester kontinuitas audio.

Sama seperti diatas, ohmmeter atau multimeter dapat juga digunakan untuk pengujian kontinuitas. Ohmmeter atau multimeter terdiri dari batere sebagai sumber energi, dilengkapi dengan alat ukur (meter) untuk menujukan nilai resistansi. Gambar 4-2, memperlihatkan contoh pengujian dengan ohmmeter.

Gambar 4. 1 Pengujian kontnuitas dengan tester audio

Gambar 4. 2 Pengujian kontinuitas dengan ohmmeter

Pengujian kontinuitas dilakukan dengan tujuan untuk memeriksa :

- Kesempurnaan kabel
  - ✓ Kesempurnaan rangkaian listrik
  - ✓ Kesempurnaan sistem pembumian
  - ✓ Keakuratan kawat pada rangkaian daya dan kontrol pada terminal yang benar
  - ✓ Membedakan penghantar aktif dan netral sebelum dihubungkan pada peralatan
  - ✓ Pemeriksaan kesalahan hubungan kawat antara perbedaan rangkaian daya dan kontrol, secara tidak langsung, memeriksa hubungan singkat
  - ✓ Kesempurnaan saklar, sikring, dan peralatan yang lainnya

Gambar 4. 3 Pengujian isolasi dengan insulation-resistance tester

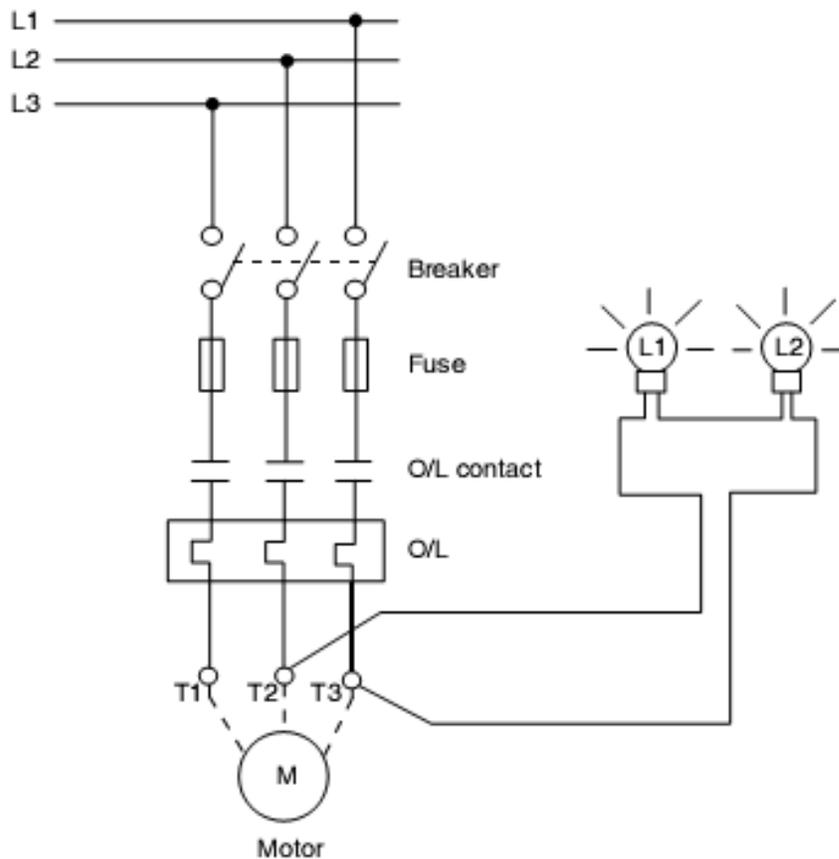
(b) Pengujian isolasi

Ini pengujian yang lainnya dilakukan pada rangkaian tanpa tegangan. Maksud dan tujuannya adalah untuk memeriksa isolasi kabel atau rangkaian daya. Peralatan yang digunakan untuk memeriksa kesempurnaan isolasi adalah 'insulation-resistance tester'.

Secara umum, alat ini digunakan pada kabel daya tegangan tinggi dan terminasi. Gambar 4.3, Rangkaian pengendali motor yang dilengkapi dengan *circuit breaker*, *fuse* dan *overload relay*.

Pengujian isolasi pada rangkaian (mengabaikan motor), tidak dihubungkan pada sumber tegangan dengan mengoperasikan breaker

3. Pengujian kontinuitas rangkaian ber-tegangan

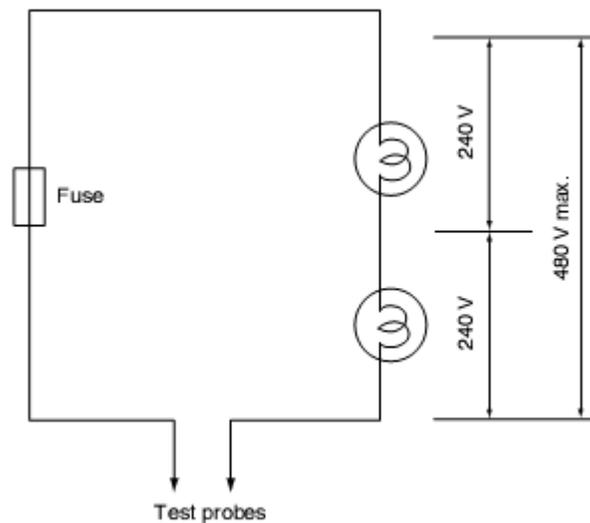
Seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.4, kesempurnaan catu daya atau kontinuitas kelistriakan dapat diperiksa dengan menggunakan lampu penguji (test lamp). Lampu penguji dihubungkan diantara kedua fasa.

Gambar 4. 4 Pengujian kontinuitas dengan test lamp

4. Peralatan penguji (Testing devices)

Keberhasilan troubleshooting dalam waktu yang singkat, memahami pengukuran yang digunakan untuk berbagai fungsi merupakan keharusan. Pada bagian ini akan diuraikan tentang peralatan pengujian (*testing devices*).

Lampu indikator

Lampu indikator adalah alat paling dasar yang digunakan oleh teknisi listrik untuk troubleshooting. Yang kita ketahui sebagai 'voltage tester'. Terdiri dari dua buah lampu 240 V yang dihubungkan seri.

Seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.5, kedua buah lampu dihubungkan seri yang dilengkapi dengan sikring dan kabel penguji (test probe). Menggunakan dua buah lampu akan lebih baik sebagai penguji, suatu saat kemungkinan tegangan yang diuji adalah tegangan jala-jala (380/415/480).

Gambar 4. 5 Test lamp dengan dua buah lampu

Voltmeter dan ammperemeter

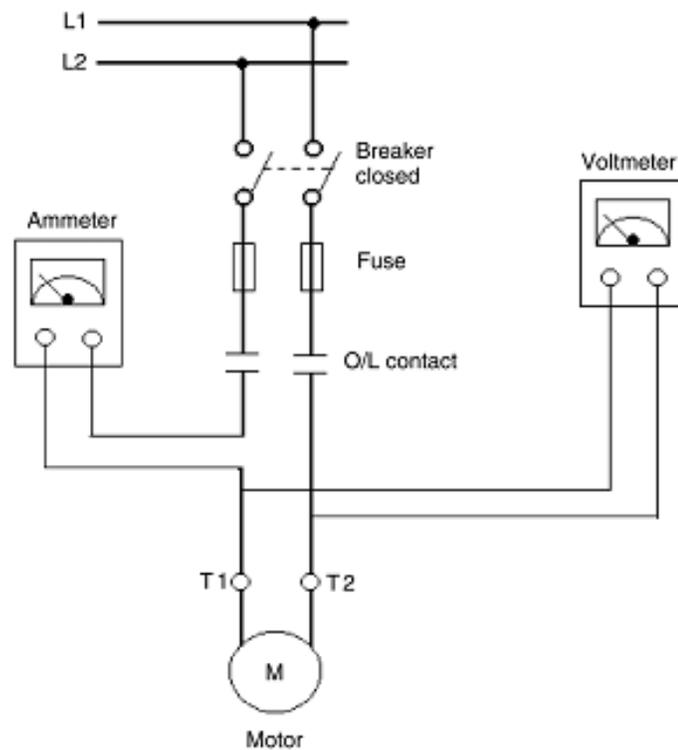
Untuk mengukur tegangan (beda potensial) antara dua titik, mengunakan peralatan yang kita ketahui sebagai voltmeter. Peralatan ini digunakan pada rangkaian yang bertegangan. Pengukuran tegangan dengan menghubungkan voltmeter pada kedua titik yang berseberangan pada rangkaian.

Voltmeter dapat digunakan untuk mengukur tegangan AC/DC pada batas ukur yang berbeda. Sehingga, jika tegangan AC yang harus diukur sebaiknya memilih voltmeter AC.Voltmeter selalu dihubungkan paralel atau shunt terhadap titik yang akan diuji.Pada waktu mengoperasikan voltmeter, yakinkan bahwa pemilihan batas ukurnya sesuai sebelum melakukan pengukuran, sebab alat ukur dirancang dengan batas ukur tertentu.

Voltmeter digunakan untuk tujuan sebagai berkut :

- Pengujian kontinuitas daya pada rangkaian listrik
- Memeriksa kesempurnaan daya fasa tunggal
- Memeriksa kesempurnan peralatan seperti relay dan timer
- Memeriksa kesempurnan pembumian

Amperemeter adalah peralatan yang digunakan untuk mengukur arus yang mengalir pada rangkaian listrik.

Gambar 4.6, memperlihatkan hubungan amperemeter dan voltmeter yang digunakan untuk troubleshooting rangkaian motor starting. Pada penjelasan sebelumnya, amperemeter dihubungkan seri dengan beban, dimana voltmeter dihubungkan paralel pada titik yang akan diuji.

Gambar 4. 6 Rangkaian amperemeter dan voltmeter

Untuk menghindari kontak fisik amperemeter dengan rangkaian, peralatan listrik yang kita ketahui adalah tang ampere (*clip-on meter*) tersedia dipasaran (gambar 4.7).

Gambar 4. 7 Tang ampere jenis digital

Gambar 4. 8 Penggunaan tang ampere

Multimeter dan ohmmeter

Untuk berbagai macam jenis pengujian terhadap pemeriksaan tegangan AC/DC, arus, resistan, frekuensi, kontinuitas rangkaian atau kelayakan peralatan, multimeter merupakan peralatan yang sangat bermanfaat (gambar 4.9).

Gambar 4. 9 Multimeter analog

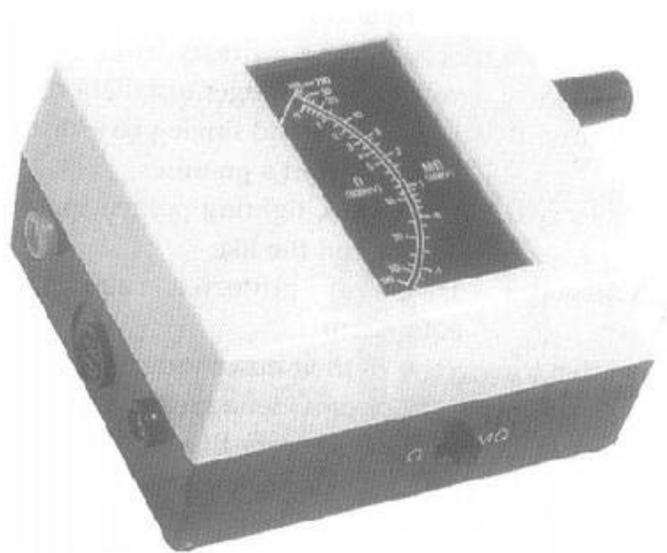
Gambar 4. 10 Multimeter digital

Insulation tester atau megger

Untuk mengukur resistansi yang besar dengan batas 0-1000 MΩ digunakan megger atau insulation tester.

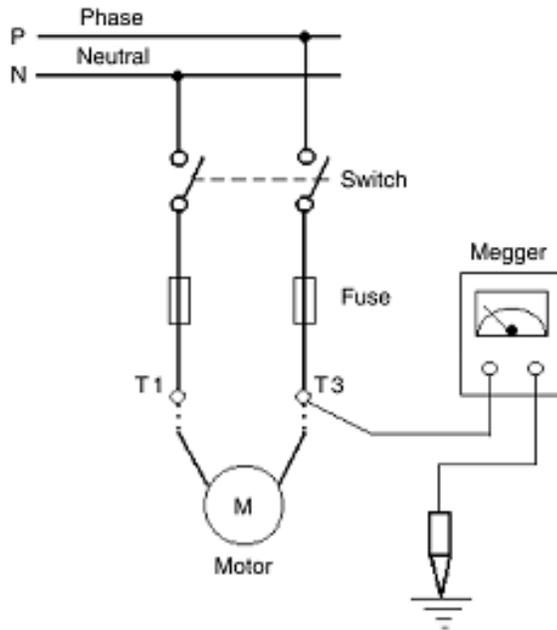
Instrumen ini digunakan untuk mengukur resistansi yang sangat tinggi, seperti untuk menentukan isolasi kabel, antara kumparan motor, kumparan transformator dan sebagainya.

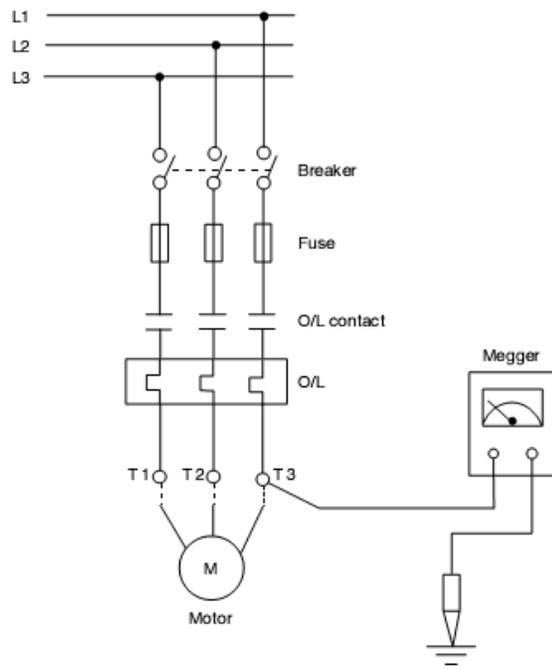
Gambar 4.11 menunjukan insulation tester yang dioperasikan dengan tangan (biasanya disebut Mega ohm meter atau megger).

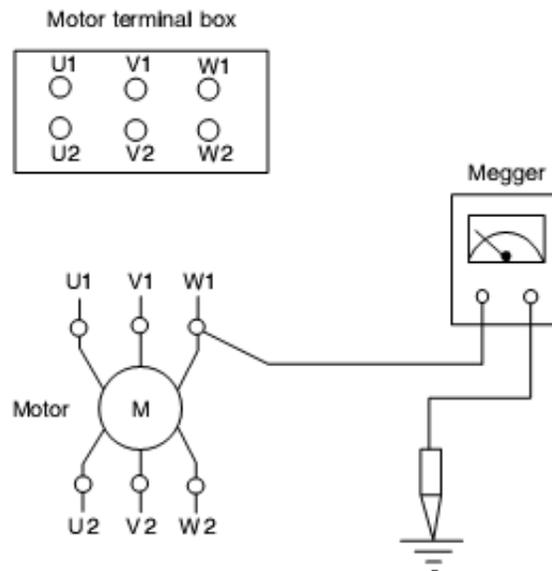
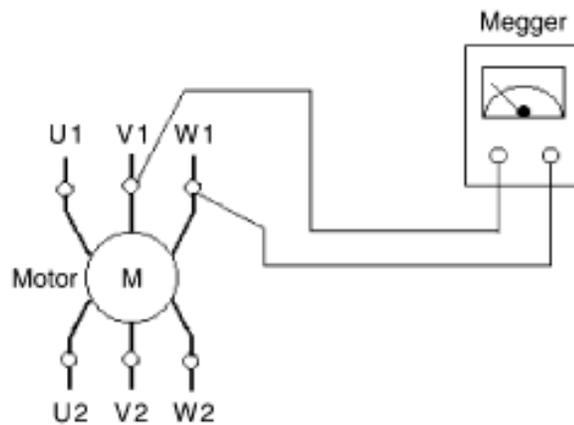
Gambar 4.12 menunjukan *insulation tester* versi elektronik, *digital insulation tester* dengan pembangkitan tegangan dari sumber batere. Gambar 4.13 menunjukan versi analog untuk instrumen yang sama.

Gambar 4. 11 Megger dioperasikan dengan tangan

Gambar 4. 12 Digital insulation tester

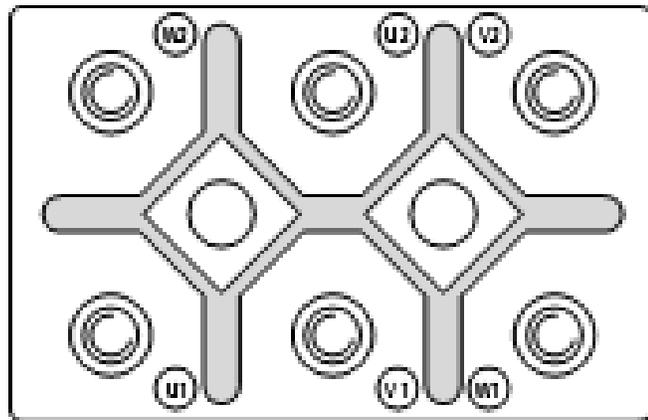
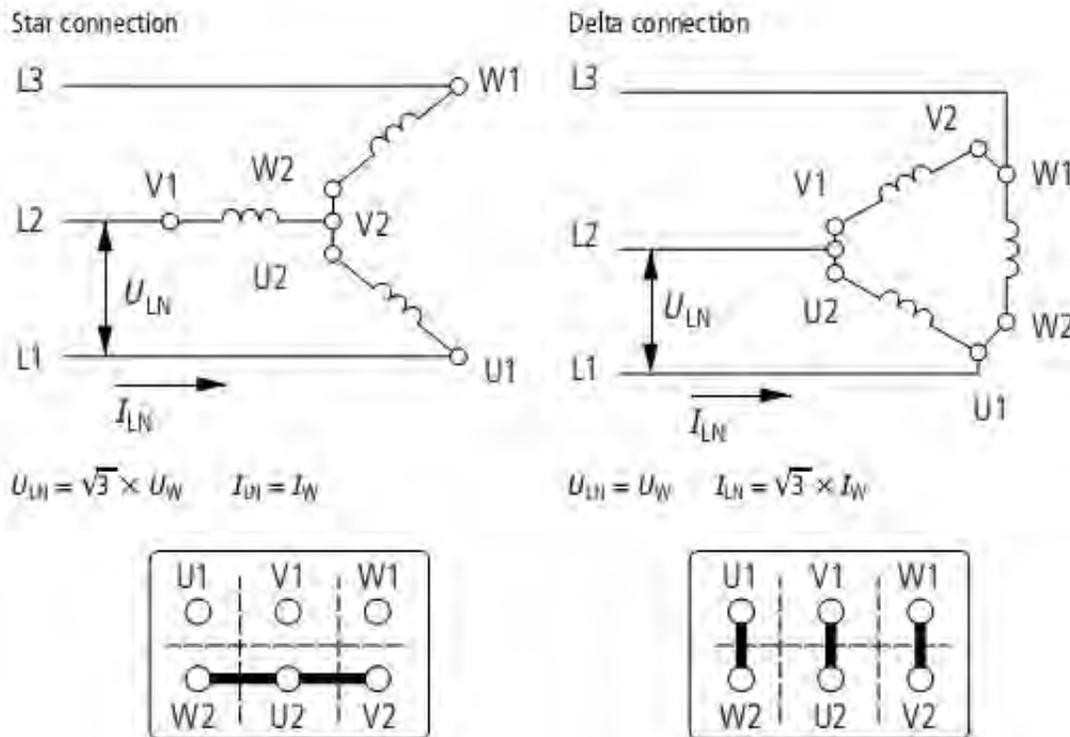
Gambar 4. 13 Analog insulation tester

(a) Pegujian kabel dengan meger pada sistem fasa tunggal

Gambar 4. 14 Meger pada sistem fasa tunggal

(b) Pegujian kabel dengan meger pada sistem tiga fasa

Gambar 4. 15 Meger pada sistem tiga fasa

(c) Pengujian motor dengan megger

Gambar 4. 16 Pengujian kondisi kumparan dengan arde

Gambar 4. 17 Pengujian kondisi kumparan dengan kumparan

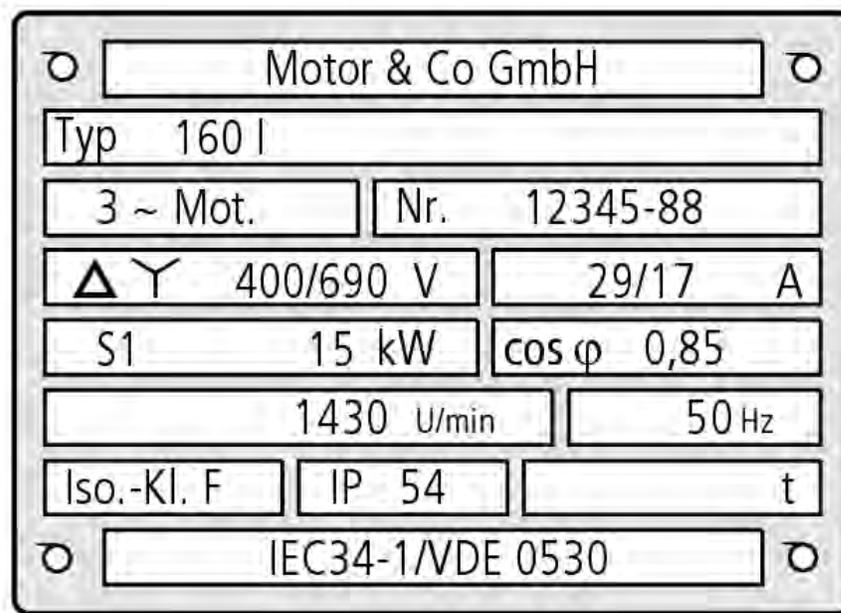
5. Identifikasi terminal motor dan diagram hubungan

Biasa, diagram hubungan terminal motor diberikan pada motornya. Untuk motor tiga fasa, hubungan ujung-ujung ketiga kumparan ditunjukkan dengan U1 dan U2, V1 dan V2, W1 dan W2.

Gambar 4. 18 Terminal motor induksi tiga fasa

Gambar 4. 19 Hubungan motor induksi tiga fasa dengan 6 terminal

6. Pelat nama motor

Pelat nama motor memberikan informasi yang penting tentang motor. Informasi yang diberikan sebagai berikut :

- *Motor rating*
- *Motor supply*
- *Motor conection*
- *Motor type and size*
- *Motor rpm*
- *Temperatur rise*
- *Motor duty*
- *Enclosure type*
- *Number of pole*

Pelat nama yang diberikan secara terperinci pada motor listrik :

Gambar 4. 20 *Name Plate* Motor

7. Troubleshooting Rangkaian Kontrol

7.1 Dasar rangkaian kontrol

Dasar rangkaian kontrol digunakan pada berguna untuk starting, stopping, sequencing dan pengaman pengunci otomatis peralatan kontrol dan mesin.

Rangkaian kontrol terdiri dari relay, kontak relay, kontaktor, timer, konter, dan sebagainya. Rangkaian kontrol dapat dikonfigusasikan dengan program pada PLC. Dengan menggunakan perangkat lunak diagram logik *ladder*, *statement list*, atau kontrol *flowchart*, dengan mempresentasikan kondisi logik, berurutan, dan interlok yang diperlukan untuk pengoperasian peralatan atau mesin yang bekerja secara berurutan otomatis.

Untuk memahami letak gangguan pada rangkaian kontrol, untuk itu sangat penting memahami prinsip kerja dari rangkaian kontrol, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.21.

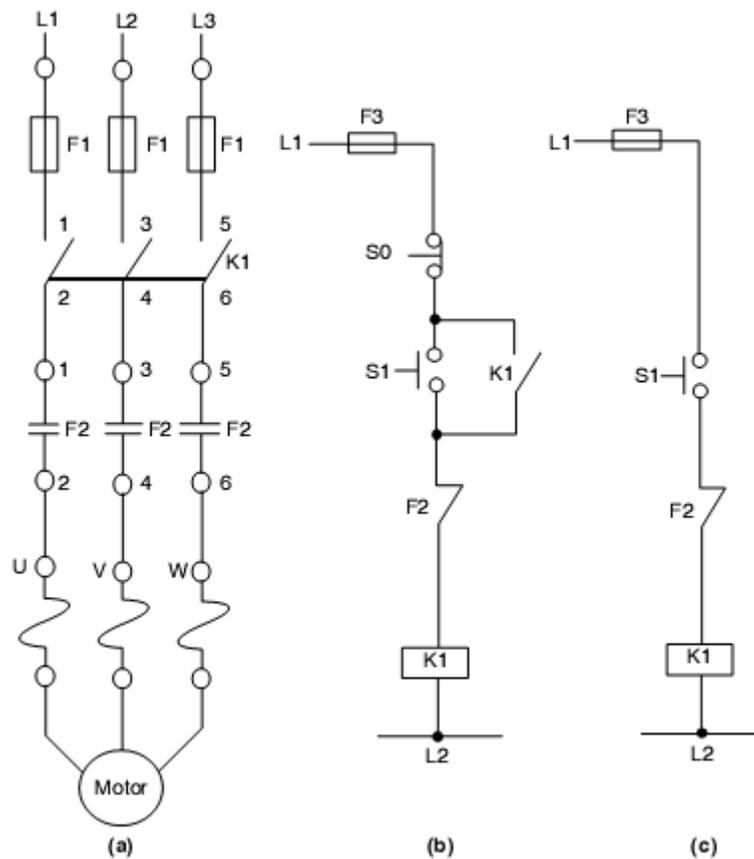
Dasar rangkaian kontrol untuk *DOL (direct-on-line) starter*

Gambar 4.21 (a) menunjukan suatu rangkaian untuk DOL starter motot tiga fasa. Tegangan jala-jala dihubungkan langsung dengan kumparan. Yang mana kapasitas motor dapat dijalankan langsung dari jala-jala (*direct-on-line*) tergantung pada kapasitas sistem distribusi dan tegangan jatuh selama mula jalan (starting). Pada industri yang besar ini tidak biasa untuk motor 200 kW menggunakan *DOL starter* secara khusus jika disuplai oleh transformator 1600 kVA atau lebih tinggi. Bagaimanapun, jika motor disuplai oleh generator tegangan rendah, *DOL starter* dirancang dengan memperhatikan tegangan jatuh pada saat starting.

Rangkaian Utama

Gambar 4.21 (a) menunjukan suatu rangkaian dengan sumber tegangan tiga-fasa (L1, L2 dan L3), sikring pada rangkaian utama (F1), kontaktor utama (K1), dan relay proteksi beban lebih (F2) untuk motor tiga-fasa.

Motor dapat dijalankan dengan dua metoda sebagai berikut :

1. Kontrol kontak sesaat dengan tombol tekan jenis tekan dan lepas.
2. Kontrol kontak terus dengan tombol tekan jenis tekan dan pengunci.

Gambar 4. 21 *(a) Rangkaian utama, (b) rangkaian kontrol (kontak sesaat), (c) rangkaian kontrol (kontak terus).*

Pengontrol kontak sesaat

Gambar 4.21(b) menunjukan rangkaian kontrol sesaat untuk menjalankan dan menghentikan motor tiga-fasa menggunakan DOL starter dengan masing-masing tombol tekan start dan stop S1 dan S0.

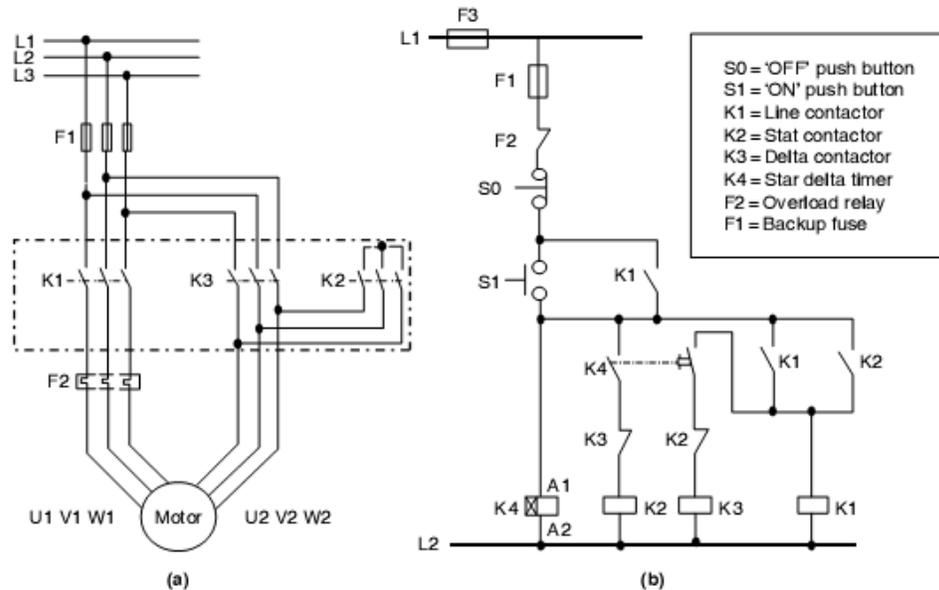
Rangkaian kontrol terdiri dari relay beban lebih (F2) kontak NC, kontak NC tombol tekan stop (S0), kontak NO tombol tekan (S1) dihubungkan seri dengan kumparan kontaktor utama (K1). Sumber tegangan untuk rangkaian melalui sikring pengaman (F3).

Kumparan kontaktor utama akan mendapatkan fasa pertama (L1) melalui rangkaian kontrol jika semua kontak tertutup. Dalam kasus ini, jika tombol tekan start ditekan, rangkaian kontrol tertutup dan kontaktor utama bekerja. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.22, kontak NO kontaktor utama dihubungkan paralel dengan tombol tekan start. Sebagai kontaktor utama terhubung, melalui pengunci kontak NO (K1) yang dihubungkan paralel dengan tombol tekan start setelah terlepas. Kontaktor utama tetap on dan motor bekerja sampai tombol tekan stop ditekan atau relay beban lebih bekerja.

Pengontrol kontak terus

Gambar 4.21(c) memperlihatkan rangkaian kontrol untuk menjalankan dan menghentikan motor tiga-fasa menggunakan *DOL starter* dengan tombol tekan (S1). Rangkaian kontrol terdiri dari kontak NC relay beban lebih (F2) dan kontak NO saklar togle (S), dihubungkan seri dengan kumparan kontaktor utama. Sumber tegangan untuk rangkaian melalui sikring (F3).

Kumparan kontaktor utama (k1) akan mendapatkan daya jika semua kontak tertutup. Pada kasus ini, jika saklar (S) ditutup, sehingga rangkaian kontrol tertutup dan kontaktor utama (K1) bekerja.

Selama saklar (S) tetap on, kontaktor utama tetap on dan motor bekerja sampai saklar (S) terbuka atau relay beban lebih bekerja.

Gambar 4. 22 (a) *Rangkaian utama star-delta, (b) rangkaian kontrol star-delta.*

7.2 Pengontrol Bintang-segitiga (*Star-delta starter*)

Rangkaian yang ditunjukkan pada gambar 4.22(a) adalah rangkaian utama bintang segitiga dan gambar 4.22(b) adalah rangkaian kontrol.

Biasanya, motor telah ada gambaran arusnya lebih tinggi 500% dari arus beban penuh normal pada saat mulai dijalankan. Ini akan menaikan torsi mula jalan lebih tinggi dari keadaan normal, akan menyebabkan kerusakan mekanik. Untuk mencegaha ini, dilakukan penurunan tegangan mula jalan. Pengendali bintang-segitiga juga dipakai jika sistem tidak dapat mendukung *DOL Starter* pada motor kapasitas besar.Jika menggunakan metoda ini arus start akan berkurang 3 kali (200% dari 600%). Bagaimanapun juga torsi mula jalan akan berkurang juga 3 kali. Oleh sebab itu metoda ini tidak cocok untuk beban dengan momen inersia tinggi.

Sewaktu mula jalan pada pengendali bintang-segitiga, kumparan terhubung dengan konfigurasi bintang oleh K1 dan K2, tegangan berkurang (kira-kira 58%). Selanjutnya, kumparan terhubung dengan konfigurasi segitiga oleh K1 dan K3.

Prinsip kerja pengontrol bintang-segitiga

Kontaktor utama K1 akan bekerja jika sikring rangkaian kontrol (F3), sikring (F1), dan relay beban lebih (F2) normal dan tombol tekan *start* (S1) ditekan.

Konfigurasi pengurangan tegangan (konfigurasi bintang)

Timer bintang-segitiga (K4) mendapatkan daya melalui sikring F3, F1, kontak NC tombol tekan *stop* (S0), dan kontak NO tombol tekan *start*. Andai kata tombol tekan (S1) ditekan, timer K4 dan kontaktor K2 bekerja. Kontaktor (K1) mendapatkan daya melalui kontak NC S0, kontak NO S1, kontak NO K2 akan terkunci selama tombol tekan (S0) tidak ditekan.

Sekarang kontaktor K1 dan kontaktor K2 bekerja, yang akan mengontrol motor pada konfigurasi bintang.

Tegangan penuh (konfigurasi segitiga)

Andai kata durasi waktu timer K4 diset (timer bintang ke segitiga) dengan batas waktu tertentu, kontaktor (K3) bekerja dan pada waktu yang sama, kontaktor (K2) tidak bekerja.

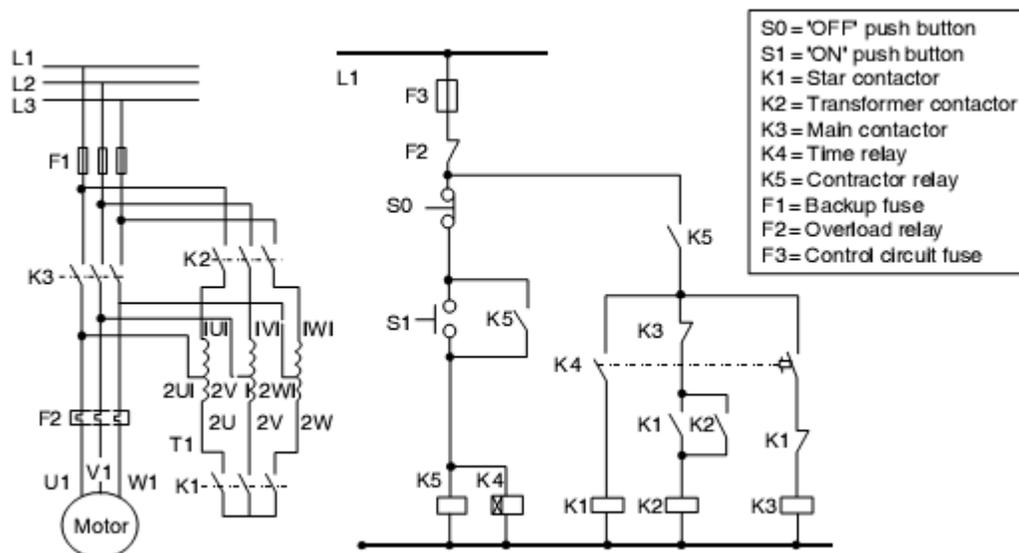
Sekarang, kontaktor (K1) dan kontaktor (K3) dalam kondisi bekerja, yang akan mengendalikan motor pada konfigurasi segitiga. Jika motor berhenti pada kondisi beban lebih pada konfigurasi bintang atau segitiga, rangkaian kontrol akan selalu menjalankan kembali motor pada konfigurasi bintang, selanjutnya konfigurasi segitiga.

7.3 Pengontrol Autotransformator 3 Fasa

Gambar 4.23 menunjukan rangkaian kontrol autotransformator 3 fasa. Rangkaian pengendali jenis ini menggunakan autotransformator yang diaplikasikan untuk mengurangi tegangan pada kumparan motor selama mula jalan. Auto transformator 3 fasa dihubungkan dengan konfigurasi bintang yang memberikan arus mula jalan untuk motor.

Setelah waktu yang ditentukan terpenuhi, tegangan penuh terhubung pada motor dengan melewati autotransformator.

Prinsip kerja autotransformator

Sikring (F1) dan relay beban lebih (F2) sebagai proteksi rangkaian utama. Begitu juga, rangkaian kontrol ada sikring (F3) dan relay beban lebih (F2) kontak NC.

Gambar 4. 23 *Rangkaian utama dan kontrol autotransformator untuk motor 3 fasa.*

Konfigurasi pengurangan tegangan

Pada rangkaian ini, kontaktor (K5) akan bekerja jika tombol tekan start ditekan dan akan tetap mengunci selama tombol tekan stop tidak ditekan atau sikring rangkaian kontrol normal atau motor berbeban lebih.

Apabila K5 bekerja, timer (K4) juga mulai bekerja. Setelah itu kontaktor K1 bekerja. Kontak kontaktor K1 menutup, kontaktor K2 akan bekerja. Dengan demikian, kontaktor K5, K4, K1, dan K2 kondisinya bekerja pada tahap ini. Sehingga mula jalan motor melalui autotransformator dengan mengurangi tegangan dan konfigurasinya bintang yang disebabkan oleh kontaktor K1 dan K2.

Setelah melewati batas waktu timer (K4), kontaktor K1 tidak bekerja. Pada waktu yang bersamaan kontaktor K3 bekerja, ini akan mengakibatkan kontaktor K2 tidak bekerja.

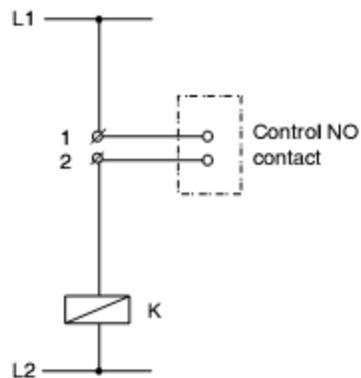
Motor akan bekerja dengan tegangan penuh akibat kontaktor K3 dalam kondisi bekerja. Sementara jika motor berbeban lebih, selanjutnya rangkaian kontrol harus diperiksa, dengan demikian motor bila akan dijalankan kembali konfigurasinya bintang dan tegangan diturunkan setelah relay beban lebih diset kembali.

7.4 Pengontrol dengan dua-kawat

Rangkaian yang ditunjukkan pada gambar 4.24 dapat digunakan untuk pengoperasian motor otomatis setelah terjadi kegagalan tergantung pada posisi kontak kontrol. Kontak kontrol dapat berupa kontak saklar permukaan atau kontak saklar temperatur.

Kontaktor K akan tetap bekerja selama kontak kontrol pada kondisi tertutup. Jika terjadi kegagalan pada sumber daya, motor berhenti.

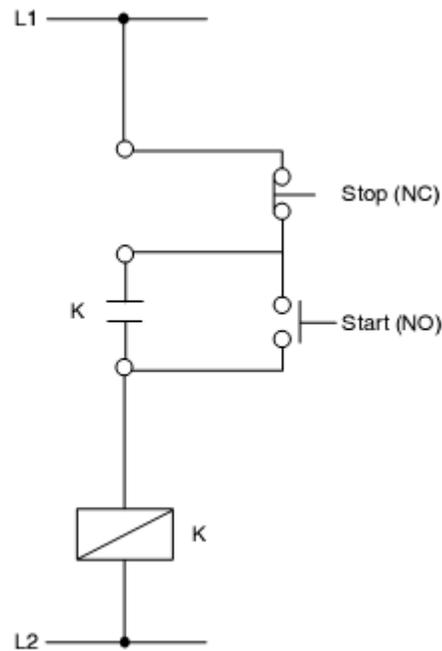
Motor akan jalan kembali secara otomatis, dengan seremapak daya akan dipulihkan kembali selama kontak kontrol pada kondisi tertutup.

Rangkaian jenis ini biasanya untuk pompa, kipas angin, blower dansebagainya dimana peralatan akan dijalan kembali secara otomatis setelah terjadi kegagalan pada sumber daya yang menarik tergantung pada kontak kontrol.

Gambar 4. 24 Rangkaian dengan kontrol dua-kawat

7.5 Pengontrol dengan tiga-kawat – *start,stop*

Rangkaian kontrol tiga-kawat untuk operasi *start/stop* ditunjukkan pada gambar 4.25. Seperti yang ditunjukkan pada diagram, kontak NO tombol tekan start dan kontak NC tombol tekan *stop* dihubungkan seri dengan kontaktor utama rangkaian kontrol.

Kontaktor utama K akan bekerja dengan menekan tombol tekan *start* dan jika tombol tekan *stop* tidak ditekan, tetap mengunci. Kontak pengunci K digunakan untuk kontaktor utama.

Jika terjadi kegagalan daya dan motor berhenti, selanjutnya motor tidak akan bisa dijalankan secara otomatis. Sekali lagi tombol tekan *start* ditekan sehingga mengunci kontaktor utama dan motor bekerja. Jenis rangkaian ini berguna pada aplikasi dimana motor tidak diperlukan bekerja secara otomatis setelah kegagalan pada sumber daya oleh karena itu dilakukan pencegahan bila terjadinya bahaya disekitarnya.

Gambar 4. 25 Pengontrol dengan tiga-kawat – *start/stop*

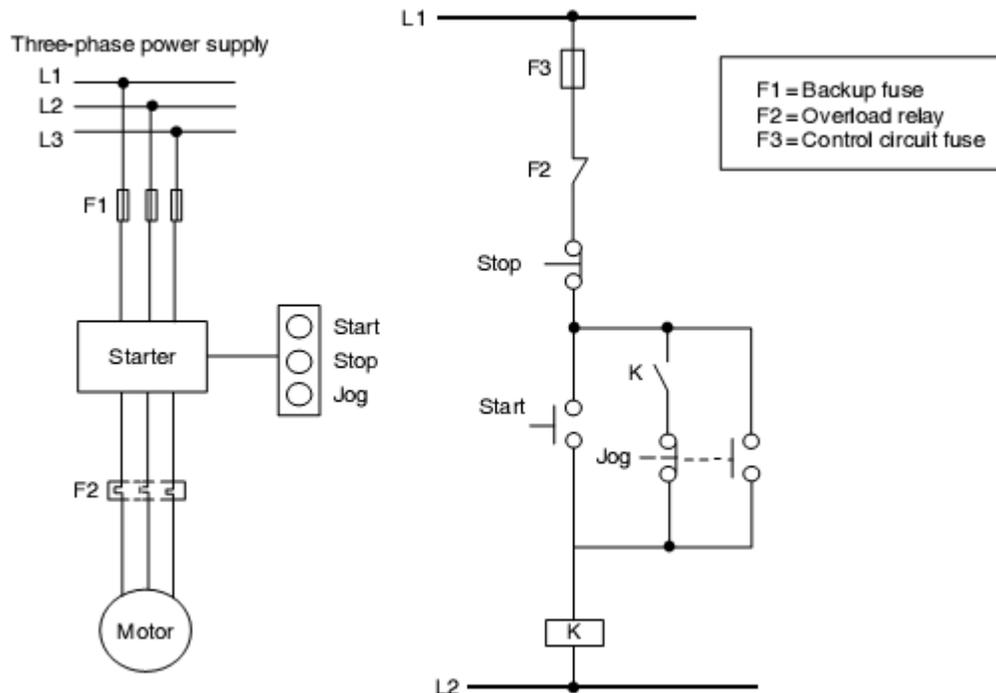
8. Rangkaian *Jog/Inch*

8.1 Rangkaian *start/stop/jogging* menggunakan tombol tekan

Jika suatu mesin berpenampilan dengan putaran rendah, rangkaian kontrol yang diperlukan gerakan „Inching" pada motor.
Tujuan dari, rangkaian kontrol „*Jog/Inch*" untuk motor tiga-fasa dirancang jika tombol tekan jog ditekan, motor berputar dan jika tombol tekan dilepaskan motor berhenti (gambar 4.26). Secara umum jenis gerakan ini digunakan pada mesin perkakas.

Prinsip kerja

Seperti yang ditunjukkan pada rangkaian kontrol, kontak ganda tombol tekan *jog* digunakan terdiri dari satu kontak NC dan satu kontak NO. Oleh sebab itu, jika tombol *jog* ditekan, rangkaian pengunci kontaktor (K) terbuka oleh kontak NC tombol tekan *Jog*.

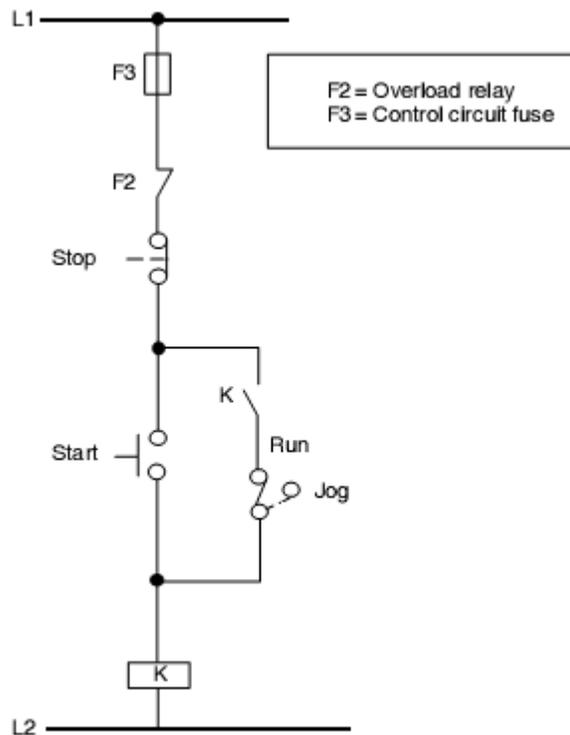
Oleh sebab itu, kontaktor (K) tidak akan mengunci, tetap bekerja selama tombol jog ditekan secara penuh. Jadi gerakan „Inching/Jogging dapat direalisasikan.

Gambar 4. 26 Rangkaian *start/stop/jogging* menggunakan tombol tekan

Jika tombol tekan *jog* dilepas secara mendadak, selanjutnya jika kontak NC tertutup sebelum kontak starter (K) dipertahankan terbuka, motor akan kontinyu berputar. Disini akan menimbulkan bahaya terhadap pekerja dan mesin disekitarnya. Peralatan mekanik dapat dipasang dengan meyakinkan bahwa rangkaian mula jalan tidak dibangun kembali jika tombol *jog* dilepas terlalu cepat.

8.2 Rangkaian *start/stop/jogging* menggunakan saklar selektor

Gambar 4.27 menunjukan penggunaan saklar selektor pada rangkaian kontrol *jogging*. Tombol *start* menunujukan dua fungsi : bekerja sebagai tombol *jog* juga sebagai tombol *start*.

Untuk mengoperasikan motor pada mode *run*, saklar selektor harus pada posisi „*RUN*". Kontaktor K akan bekerja jika tombol *start* ditekan dan tetap mengunci sebab dikunci oleh kontak K1 dan saklar selektor.

Untuk mengoperasikan motor pada mode *jog*, saklar selektor harus pada posisi „*JOG*". Kontaktor K akan bekerja jika tombol *start* ditekan tetapi jika tombol *start* dilepas, kontaktor K tidak bekerja sebab rangkaian pengunci K1 terbuka.

Gambar 4. 27 Rangkaian *start/stop/jogging* menggunakan saklar selektor

8.3 *Start* dan *stop* berurutan

Pada industri besar, terdapat mesin dan pengendali dengan jumlah yang besar. Dibutuhkan *start* dan *stop* berurutan. Pada kasus seperti ini, memungkinkan *start/stop* masing-masing pengendali dengan rangkaian kontrol *start/stop* tersendiri. Selain itu kemungkinan untuk memonitor masing-masing pengendali, berdasarkan urutan *start/stop* untuk pengendali, dan pengendali *stop* setiap proses masukan.

Penampilan dari jenis operasi ini, digunakan secara berurutan : dapat pula secara mekanik atau elektromekanik.

Dimana waktu berurutan, tergantung pada durasi waktu dan dasar berurutan, jumlah keluaran merupakan pensaklaran *on-off* sebelum menentukan urutannya.

Pada kasus ini „pulsa‟ urutan, sejumlah keluaran merupakan pensaklaran *on-off* sebelum menentukan urutannya, tergantung pada pulsa yang diterima dari suatu proses (pulsa dapat berasal dari saklar „*proximity*‟ atan saklar „limit‟ dan sebagainya).

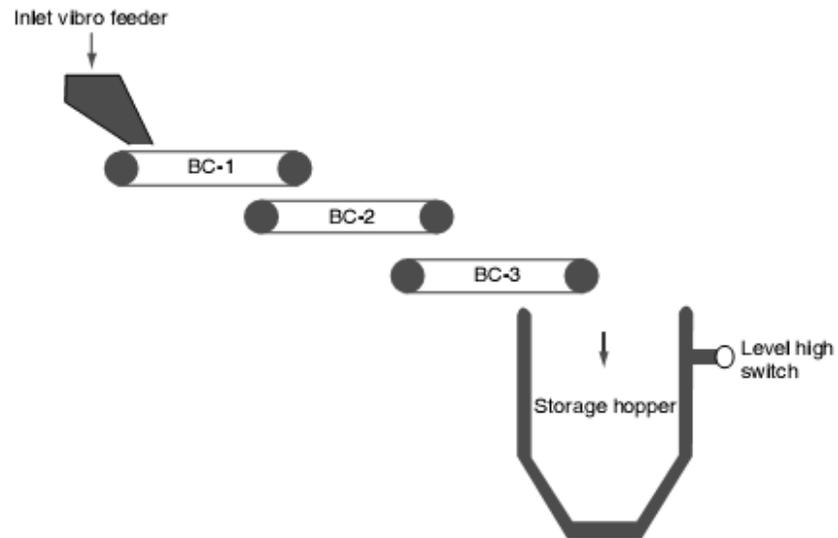
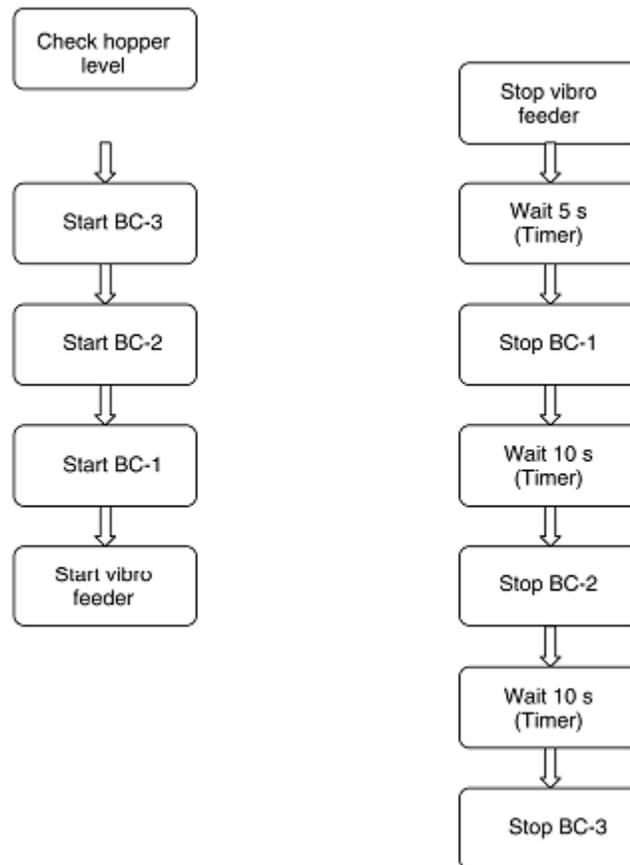
Untuk memahami kasus ini, menganggap sistem tiga konveyor berurutan untuk membawa batubara dari sumber masukan (*inlet vibro feeder*) ke tempat penyimpanan (*storage hopper*) seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.28.

Untuk memulai membawa bahan dari sumber masukan (*inlet vibro feeder*) ke tempat penyimpanan (*storage hopper*), pertama-tama konveyor 3 (BC-3) harus jalan dulu, selanjutnya konveyor 2 (BC -2) dan konveyor 1 (BC-1). Setelah ketiga konveyor jalan secara berurutan, selanjutnya sumber masukan (*inlet vibro feeder*) bekerja, menjatuhkan material ke konveyor.

Selama konveyor membawa material, jika BC-3 atau BC-2 berhenti, semua konveyor akan berhenti juga. Sebagai tambahan, jika mateial sudah terisi mencapai permukaa ketinggian tertentu pada tempat penyimpanan (*storage hopper*), semua konveyor behenti.

Urutan untuk *start* dan *stop* sistem konveyor ditunjukkan pada gambar 4.29.

Catatan : dengan maksud jika konveyor tidak dapat berhenti dengan segera lakukan perintah *STOP* untuk melindungi agar material tetap berada pada konveyor. Oleh sebab itu pada beberapa instalasi, pembawa material akan tertutup segera saat menerima perintah *STOP* dan selanjutnya konveyor yang lainnya berhenti setelah penundaan

untuk mempertahankan material tetap pada sistemnya. Skema ini dilengkapi dengan rangkaian pewaktu untuk berhenti secara berurutan.

Gambar 4. 28 *Belt* konveyor berurutan

Gambar 4. 29 *Start-stop* berurutan untuk sistem konveyor

8.4 Rangkaian pembalik (*Reversing circuit*)

Dengan merubah arah kedua fasa dari motor tiga fasa. Ini akan merubah arah putaran motor.

Untuk melakukan pembalikan, dua jenis rangkaian kontrol diuraikan sebagai berikut :

Rangkaian jenis *jogfor/rev/off* menggunakan saklar selektor

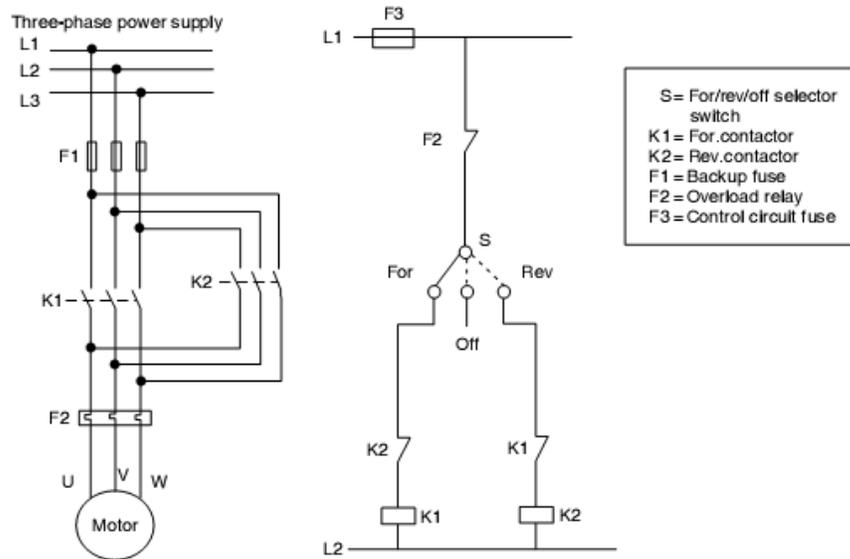
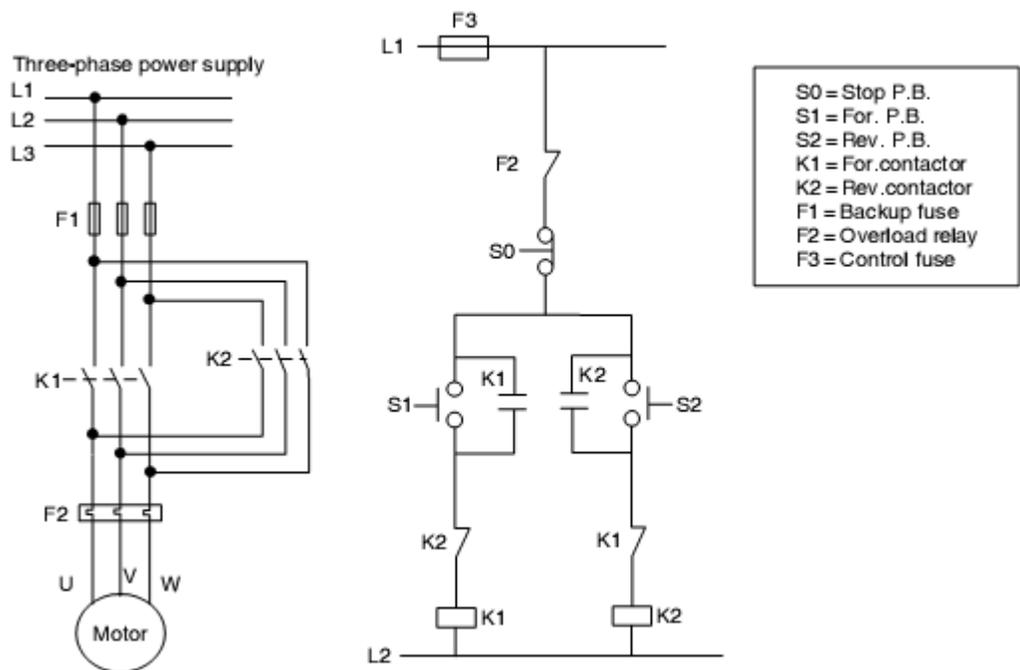
Merubah dua penghantar pada motor induksi tiga fasa akan menyebabkan arah putaran terbalik. Rangkaian pembalik tiga fasa ditunjukkan pada rangkaian utama (gambar 4.30) yang memperlihatkan dua kontaktor K1 dan K2 (*forward* dan *reverse*, masing-masing). Saklar selektor adalah jenis pengembali dengan per posisi *off* ditengah.

Kontaktor K1 bekerja jika saklar selektor diputar pada posisi *forward*. Kontaktor K1 akan menghubungkan sumber tegangan (L1, L2 dan L3) pada penghantar motor (U, V dan W) dengan urutan fasa yang sama. Ini akan menyebabkan motor berputar dengan arah forward. Saklar selektor diposisikan pada posisi reverse kontaktor K2 bekerja. Kontaktor K2 menghubungkan sumber tegangan L1 ke W, L2 ke V dan L3 ke U merubah urutan fasa L1 dan L2. Ini akan menyebabkan motor berputar dengan arah reverse. Saklar selektor diposisikan pada posisi *off* motor akan berhenti.

Rangkaian jenis *latchfor/rev/off* menggunakan saklar selektor

Rangkaian ini telah dibahas sebelumnya pada rangkaian *fwd/rev* jenis *jog.*Rangkaiannya seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.30 adalah jenis *latch*, pengendali *fwd/rev*.

Jika tombol tekan forward ditekan kontaktor K1 akan bekerja. Ini akan menghubungkan sumber tegangan tiga fasa ke motor dengan urutan fasa yang sama menyebabkan putaran motor arahnya *forward*.

Kontaktor K1 akan tetap bekerja karena dikunci oleh kontak NO K1. Motor akan tetap berputar dengan arah *forward* selama tombol tekan *stop/reverse* ditekan atau proteksi beban lebih bekerja atau sikring putus.

Gambar 4. 30 Rangkaian *fwd/rev/stop* jenis jog menggunaka saklar selektor

Gambar 4. 31 Rangkaian *fwd/rev/stop* jenis *latch* menggunakan tombol tekan

Jika tombol tekan reverse ditekan kontaktor K2 akan bekerja secara bersamaan kontaktor K1 tidak bekerja. Ini akan menghubungkan sumber tegangan tiga fasa ke motor dengan urutan fasa yang berbeda menyebabkan putaran motor arahnya *reverse*. Kontaktor K2 akan tetap bekerja karena dikunci oleh kontak NO K2. Motor akan tetap berputar dengan arah *forward* selama tombol tekan *stop/reverse* ditekan atau proteksi beban lebih bekerja atau sikring putus.
Tombol tekan *stop* tidak perlu ditekan sebelum arah putaran berubah.

9. Plug stop dan rangkaian anti-plug

Untuk menghentikan putaran motor, caranya adalah memutuskan sumber tegangan dan membiarkan motor sampai berhenti.
Walaupun demikian, beberapa aplikasi motor harus diberhentikan secara cepat atau pada posisi yang diingikan dengan pengereman. Ini direalisasikan dengan

menggunakan pengereman rangkaian listrik. Memanfaatkan kumparan motor untuk menghasilkan torsi perlambatan. Energi kinetik rotor dan beban akan menghilangkan torsi pada rotor motor.

Berdasarkan uraian diatas pengereman listrik terdapat dua jenis pengereman yang berbedaan sebagai berikut :

1. *Plugging*
2. *Dynamic breaking*

9.1 Plugging

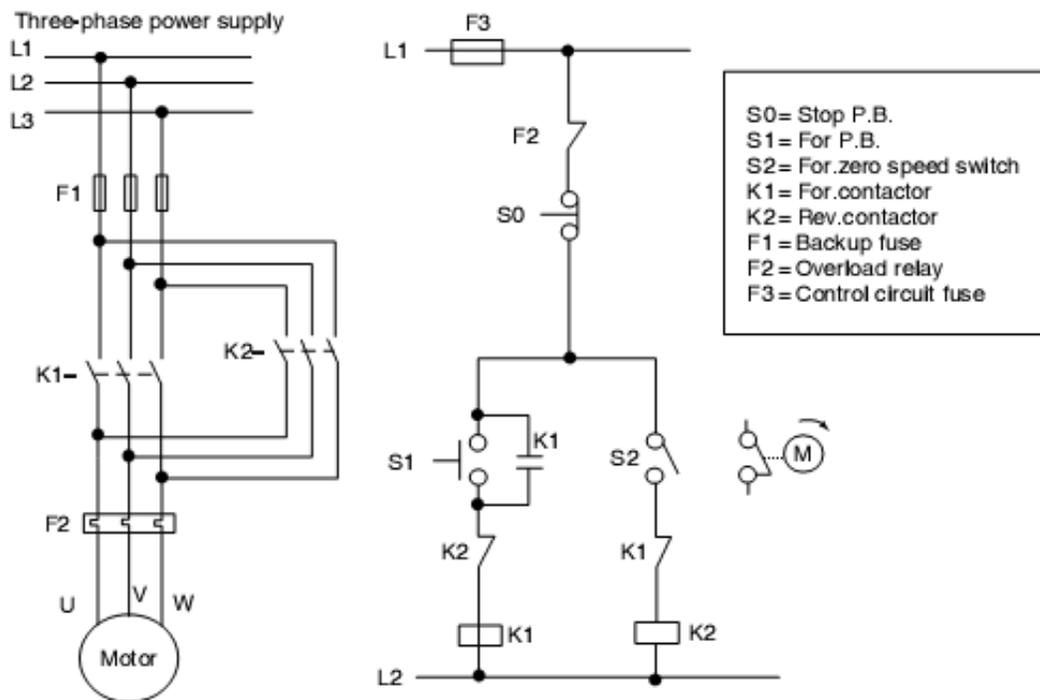
Untuk merealisasikan perintah ini, saklar atau kontak yang digunakan untuk meyakinkan status motor. Tergantung pada putaran dan kecepatan motor, prubahan status saklar dari NO ke NC.

Saklar ini disebut saklar kecersipatan-nol (*zero-speed switch* atau *plugging switch*). Saklar kecepatan-nol untuk mencegah putaran balik motor sebelum berhenti. Saklar kecepatan-nol secara fisik dipasang pada poros mesin, sebagai penghambat motor. Saklar kecepatan-nol berputar, gaya sentrifugal yang menyebakan kontak saklar membuka atau menutup, tergantung pada rancangan penggunaannya.

Masing-masing saklar kecepatan-nol mempunyai batas operasi kecepatan, yang akan menyebabkan saklar kontak. Contoh, 10 – 100 rpm. Skema pengendali seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.32 metoda penghambat motor yang akan berhenti dari hanya satu arah putaran.

Jika tombol tekan start (forward) ditekan, kontaktor K1 bekerja. Oleh sebab itu, motor berputar dengan arah forward. Kontaktor K1 dikunci melalui kontak pengunci,

Selama motor berputar dengan arah *forward*, kontak NC F (zero switch) rangkaian terbuka pada kontaktor K2. Jika tombol tekan stop ditekan kontaktor K1 tidak bekerja. Ini akan mengembalikan kontaktor K2 bekerja sebab kontak *forward on* saklar kecepatan juga kondisinya tertutup.

Kontaktor *reverse* bekerja, motor dihambat. Motor mulai mengurangi kecepatan dengan cepat sesuai dengan keadaan saklar kecepatan, dimana titik kontaknya terbuka dan kontaktor K2 tidak bekerja.

Gambar 4. 32 Rangkaian penghambat untuk motor tiga-fasa

Kontaktor digunakan, hanya untuk menghentikan motor, menggunakan operasi penghambatan (*plugging*). Ini tidak digunakan untuk membalik arah putaran motor. Kebanyakan mesin membutuhkan motor yang putarannya dapat dibalik. Kebanyakan mesin ukuran kecil tidak kena dampak oleh putaran balik motor, sebelum berhenti.

Ini tidak dibenarkan pada peralatan dengan ukuran besar. Hentakan torsi balik diaplikasikan jika motor ukuran besar dibalik putarannya (tanpa mnegurangi kecepatan) bisa merusak motor.

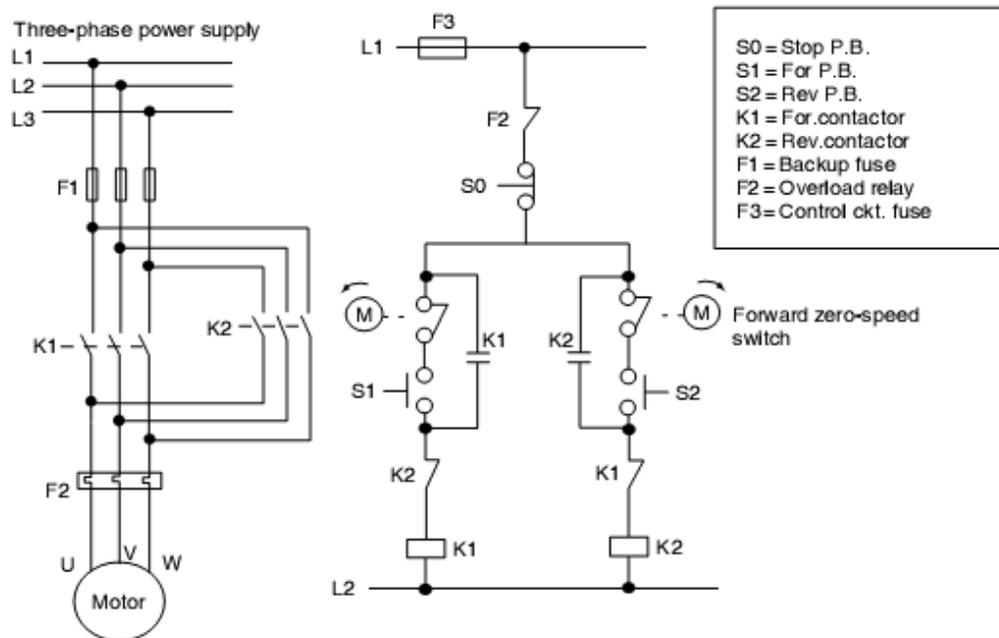
Pengendali mesin dan secara ekstrim dengan arus yang tinggi bisa mempengaruhi sistem distribusi. Menghambat motor lebih dari lima kali waktu yang butuhkan pada saat motor di-*start* tidak terbatas.

9.2 Anti-plugging

Proteksi anti-plugging diperlukan, jika motor yang mempunyai momen inersia besar dengan tiba-tiba dihubungkan, pada arah *reverse*, dimana motor masih berputar dengan arah *forward*.

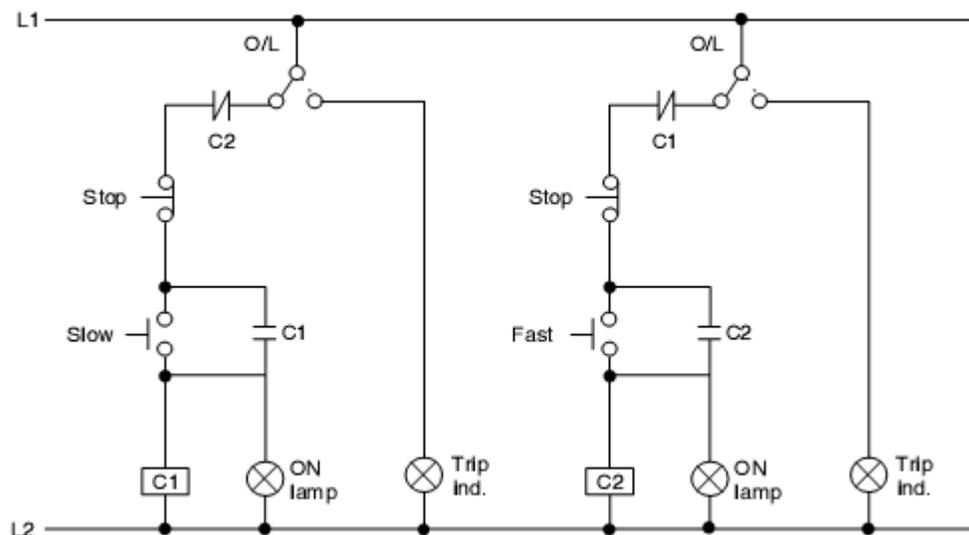
Proteksi anti-plugging diaplikasikan untuk mencegah torsi balik, selama kecepatan motor berkurang sesuaai dengan nilainya. Rangkaian *anti-plugging* seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.33, motor dapat berbalik putaran tetapi tidak terjadi penghambatan (plugging). Jika tombol tekan *forward* ditekan kontaktor K1 bekerja yang akan mengakibatkan motor berputar dengan arah *forward*. Motor akan berputar terus karena dikunci oleh kontaktor K1. Dengan kontak NC F (kontak *zero-switch speed*) *reverse*, kontaktor K2 terbuka, yang mengakibatkan motor berputar *forward*.

Jika tombol tekan stop ditekan kontaktor K1 tidak bekerja, demikian juga dengan kontak pengunci K1 terbuka, yang menyebabkan motor berputar lambat. Jika tombol tekan reverse ditekan kontaktor K2 tidak akan bekerja, selama selama kontak F (kontak *zero-switch speed*) menutup kembali (jika kecepatan dibawah penyetelan saklar).

Dengan demikian, jika motor mendekati kecepatan nol, rankaian *reverse* dapat bekerja. Selanjutnya motor berputar dengan arah *reverse*.

Gambar 4. 33 Rangkaian anti-*plugging* untuk motor tiga fasa

10. Pengendali motor dua-kecepatan

Kadang-kadang untuk menjalankan peralatan dibutuhkan dua kecepatan yang berbeda. Ini biasanya diperlukan pada aplikasi tertentu di industri, seperti kecepatan motor pengaduk, ventilasi pompa, proses kontrol terpadu. Khususnya pada pengontrolan terpadu, dimana komponen yang digunakan pada pengontrolan terpadu digabungkan, komponen yang digunakan tersebut digabung dengan komponen yang digunakan secara cepat dan lambat. Komponen-komponen yang digunakan ini akurat. Untuk merealisasikan ini, dipergunakan pada motor dua-kecepatan.
Jenis rangkaian pengendali motor dua-kecepatan ditunjukkan pada gambar 4.34, secara kelistrikan kumparan motor dibagi dua. Rangkaian kontrol menghubungkan kumparan motor pada konvigurasi yang berbeda yang menyebabkan perubahan kecepatan dari suatu kecepatan tertentu ke yang lainnya. Masing-masing kumparan dapat menyalurkan daya motor pada kecepatan tertentu.

Seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.34, dua kontaktor disertakan untuk kecepatan rendah dan tinggi. Kedua kontaktor tersebut secara kelistrikan tidak boleh bekerja bersamaan. Untuk memproteksinya dipisahkan oleh masing-masing proteksi beban lebih.

Gambar 4. 34 Jenis rangkaian pengendali untuk motor dua-kecepatan

11. Proteksi beban lebih

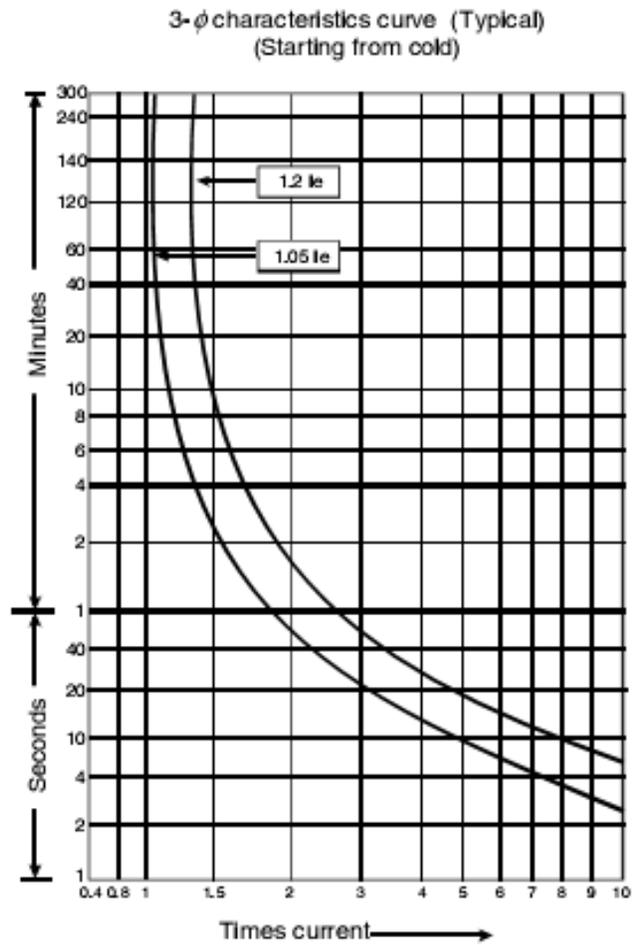
Proteksi digunakan untuk memproteksi motor terhadap panas yang berlebihan yang disebabkan oleh motor berbeban lebih. Proteksi beban lebih untuk melindungi motor dari beban yang berlebihan dan kadang-kadang untuk melindungi komponen pengendali serta penghantar yang mengalami panas berlebihan.

Prinsip kerjanya adalah, mendeteksi arus yang mengalir melalui motor, langsung mengukur panas dan beban motor. Untuk proteksi beban lebih pada pengendali motor digunakan relay bimetal. Relay bimetal adalah relay beban lebih tiga-kutub yang dapat disesuaikan proteksinya dengan proteksi fasa hilang. Proteksi yang akurat dan handal terhadap motor yang berbeban lebih dan fasa hilang.

Relay bimetal disiapkan untuk memproteksi motor yang akurat terhadap beban lebih dan cepat terhadap kehilangan fasa. Dilengkapi dengan penggeser untuk mempercepat pemutusan terhadap kehilangan fasa. Juga tersedia proteksi tegangan tidak seimbang.

Relay termal dihubungkan seri dengan motor, sebagai proteksi arus lebih jika melampaui mengesetan waktu intervalnya, kontak (hubungan seri) beroperasi untuk memutuskan hubungan motor. Relay diseting (secara umum 3-14% dari arus beban penuh) untuk berbagai batas arus motor. Dapat diset secara bersamaan.

Menurut kurva beban lebih relay termal, menunujukan hubungan antara arus dan waktu. Relay tidak akan putus pada batas arus tertentu, tetapi keduanya pada batas arus tertentu setelah durasi waktu kurang lebih 45 detik. Relay bimetal dengan sendirinya melindungi beban lebih 10 kali dari pengesetan maksimum

Disisi lain, dapat memproteksi hubungan singkat. Ini merupakan suatu keharusan yang dapat digunakan untuk mengantikan sikring. Karakteristik operasi dari relay bimetal ditunjukkan pada gambar 4.35.

Gambar 4. 35 Karakteristik operasi relay bimetal

Pada pengendali inersia yang tinggi, waktu mula jalan motor kemungkinan tinggi (30-60 detik). Jika menggunakan relay termal beban lebih standar, akan menyebabkan motor berhenti sebelum mencapai batas kecepatan tertentu. Pada kasus ini, relay termal beban lebih spesial dengan saturasi *CT* digunakan dan disediakan oleh beberapa penjual. Sebagai pengganti proteksi memungkinkan juga dipakai saklar kecepatan dan timer untuk mendeteksi kondisi mula jalan abnormal dan motor berhenti.

12. Contoh troubleshooting

Pada uraian diatas, bermacam-macam rangkaian kontrol dasar dan komplek untuk motor tiga fasa telah dibahas secara detail.

Berikutnya, adalah contoh *troubleshooting* rangkaian kontrol. Menganggap rangkaian kontrol untuk motor tiga fasa *DOL starter* dengan kontak kontrol yang terpelihara seperti yang diperlihatkan pada gambar 4. 21(b).

Permasalahan mula jalan dan jalan motor diuraikan dibawah ini :

1. Motor akan jalan dengan menekan tombol tekan *start*, tetapi segera berhenti setelah melepas tombol tekan *start*.
2. Motor jalan dan berhenti setelah 2 menit tombol tekan *start* dilepas.

Dengan asumsi sikring pada rangkaian utama tidak putus.

Berikut adalah solusi terhadap permasalahan yang diuraikan diatas :

- Sejak motor jalan dengan menekan tombol tekan *start*, ini mengindikasikan bahwa kontaktor (K1) akan mengendalikan sumber tegangan jika rangkaian sempurna dengan menekan tombol tekan *start*. Bagaimanapun juga, motor akan segera berhenti saat tombol tekan *start* dilepas.

- Pada rangkaian kontrol, secepatnya kontaktor utama terhubung on, kontak NO diparalel dengan kontak tombol tekan start yang harus tertutup dan rangkaian kontrol bekerja saat tombol tekan *start* ditekan atau relay beban lebih bekerja dan kontak NC terbuka.

Permasalahan *troubleshoot,* dilakukan berdasarkan langkah-langkah sebagai berikut :

(i) Periksa sumber tegangan (L1), periksa tegangan antara L1 dan netral (N).

(ii) Periksa sikring rangkaian kontrol (F3) dengan *multimeter*. Jika sikring rangkaian pengendali (F3) putus, ganti sikring dan jalankan motor, motor harus jalan jika permasahannya hanya sikring rangkaian kontrol (F3) putus.

(iii) Jika sikring rangkaian kontrol (F3) OK, periksa apakah relay beban lebih telah bekerja. Periksa dengan bantuan *multimeter*. Periksa tegangan antara terminal netral dengan kontak terminal keluaran relay beban lebih, hubungkan tombol tekan *stop*. Jika relay beban lebih tidak bekerja dan *multimeter* menunjukan bahwa tegangan antara kedua terminal OK, lanjutkan ke langkah (iv).

(iv) Periksa tegangan pada terminal keluaran tombol tekan *stop* sampai tombol tekan *start*. Jika tegangan OK, lanjutkan ke langkah (v).

(v) Jika kedua kontak NO dihubungkan paralel dengan yang lainnya, dan motor akan jalan bila hanya menekan tombol tekan start, ini mengindikasikan bahwa kontak NO kontaktor utama harus tertutup dengan segera kontaktor utama menjadi on. Ini juga mengindikasikan bahwa pengunci kontaktor rangkaian kontrol tidak tertutup. Kawat penghantar dihubungkan paralel dari kontak NO ke kontak NO tombol tekan *start* memungkinkan tertutup, atau kontak NO kontaktor utama tidak tertutup, penyebabnya adalah kesalahan kontak. Untuk memastikan hal ini, ambil kawat penghantar berisolasi, dan hubung-singkatkan kontak K1, jika motor jalan dapat dipastikan bahwa kesalahan pada kontak NO. Ganti kontak NO kontaktor utama.

Jika motor jalan dan berhenti setelah 2 menit, untuk *troubleshoot*, dilakukan berdasarkan langkah-langkah sebagai berikut :

(i) Periksa sumber tegangan (L1), periksa tegangan antara L1 dan netral (N).

(ii) Periksa sikring rangkaian kontrol (F3) dengan *multimeter*. Jika sikring rangkaian pengendali (F3) putus, ganti sikring dan jalankan motor, motor harus jalan jika permasahannya hanya sikring rangkaian pengendali (F3) putus.

(iii) Jika sikring rangkaian kontrol (F3) OK, periksa apakah relay beban lebih telah bekerja. Periksa dengan bantuan *multimeter*. Periksa tegangan antara terminal netral dengan kontak terminal keluaran relay beban lebih, hubungkan tombol tekan *stop*. Jika relay beban lebih telah bekerja, tidak akan mendapatkan tegangan antara kedua terminal. Reset relay beban lebih dan pastikan bahwa motor tidak berputar karena beban lebih.

Jika tidak ada tegangan antara kedua terminal, cari kehilangan kontak atau kawat penghantar putus pada kontak berikutnya di rangkaian pengendali.

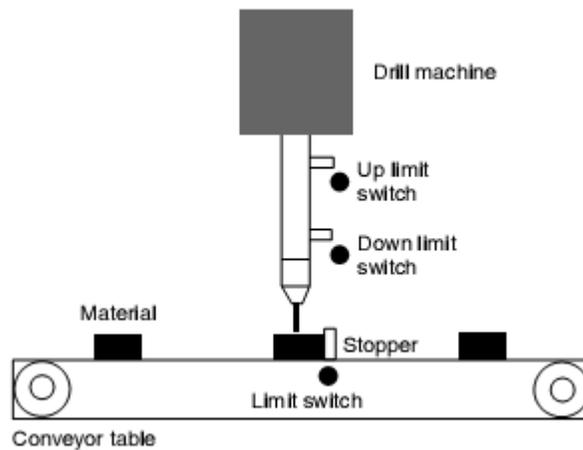
13. Strategi troubleshooting

Strategi *troubleshooting* rangkaian pengendali dan rangkaian logik *ladder* :

1. Disini yang penting gambar rangkaian pengendali, rincian peralatan, keberadaan interkoneksi dan interlok sewaktu *troubleshooting* rangkaian pengendali. *Troubleshooting* mesin atau masalah peralatan, sangat baik jika mempunyai "*Manufacturer,s Operation* dan *Maintenance Manual*", juga "*Troubleshooting Instructions*".
2. Blok diagram interlok dan urutan kontrol operasi peralatan/mesin harus tersedia selama *troubleshooting*.
3. Gambar dan uraian rangkaian daya peralatan atau mesin, peralatan kontrol, kontaktor, *timer*, *counter*, *safety*, dan peralatan proteksi dan sebagainya dibutuhkan untuk alasan *troubleshooting*.
4. Kelayakan pengujian dan instrumen pengukuran dipersyaratkan untuk pengujian rangkaian daya dan pengendali peralatan, atau mesin harus tersedia.
5. Saklar utama daya *OFF* pada peralatan/mesin dan saklar pengendali *OFF*, untuk menghindari sesuatu yang merugikan atau kecelakan sewaktu *troubleshooting* pada rangkaian pengendali yang disebabkan peralatan bekerja secara mendadak.
6. Sebagai rangkaian pengendali ada perbedaan dari peralatan terhadap peralatan dan mesin terhadap mesin, ini tidak memungkinkan untuk diformasikan atau strategi dasar untuk *troubleshooting* pada rangkaian pengendali. Bagaimanapun juga, standar engineering dan praktisi profesi harus diikuti sewaktu *troubleshooting* rangkaian pengendali.

Dokumen umum daftar isian untuk troubleshooting

- ✓ Gambar rangkaian pengendali
- ✓ *Manufacturers operations* dan *maintenance manuals* dan *troubleshooting instruction*
- ✓ Blok diagram interlok dan urutan kontrol operasi peralatan/mesin
- ✓ Gambar dan uraian rangkaian daya peralatan atau mesin
- ✓ Detail peralatan kontrol, kontaktor, *timer*, *counter*, *safety*, dan peralatan proteksi
- ✓ Rangkaian daya peralatan atau mesin.

Memperlihatkan contoh mesin bor dan meja konveyor seperti gambar 4. 36 :

Gambar 4. 36 *Start stop* berurutan

Urutannya dirinci sebagai berikut :

1. Meja konveyor akan berjalan jika material mengenai saklar batas konveyor.
2. Penyetop dan bor akan naik dan turun sampai mengenai saklar batas turun. Membuat lubang pada material yang diam untuk 1 detik. Selanjutnya bor akan naik sampai mengenai saklar batas naik.
3. Kemudian meja konveyor akan berjalan kembali sampai material berikutnya mengenai saklar batas konveyor.
4. Output dari PLC dapat dikonvigurasikan untuk konveyor start/stop, mesin bor start/stop, bor naik/turun dan penyetop naik/turun.
5. Input ke PLC adalah saklar batas konveyor dan saklar batas naik/turun mesin bor, meja konveyor on/off.

Trouble Shooting Kontrol Motor Induksi

Gangguan	Kasus	Aksi
1. Motor tidak dapat distart	a. Kontrol overload trip	Tunggu overload dingin dan direset. Coba starting lagi jika motor tidak dapat distart periksa rangkaian kontrol
	b. Power tidak tersambung	Hubungkan sumber tegangan ke rangkaian kontrol dan ke motor. Periksa sambungan kontak-kontakdan ukur sumber tegangan yang ada.
	c. Fuse putus, overload trip	Jika gangguan bila motor distarting, lakukan : • Periksa tegangan dan arus motor • Periksa apakah terjadi hubungan singkat pada rangkaian • Periksa motor tidak macet • Periksa bagian proteksi apakah batas arus sudah benar Jika gangguan terjadi pada motor sedang beroperasi : • Periksa tegangan dan arus motor • Periksa kebenaran kontrol output • Periksa apakah putaran pada kecepatan penuh saat berbeban
	d. Rangkaian kontrol salah	Periksa kembali hubungan rangkaian kontrol melihat diagram / gambar rangkaian

2. Motor tiba-tiba berhenti saat beroperasi	a. Fuse putus, overload trip b. Termistor atau termostat trip	Periksa apakah beban motor terlalu berat atau motor macet Periksa sistim pendinginan dan temperatur Tunggu untuk reset kembali dan distart kembali motor penggerak
3. Suara bising pada saat motor beroperasi	- Kerusakan bearing - Baut kendor atau lepas - Belt atau kopling kendor - Kipas pendingin - Poros tidak lurus	Periksa kondisi : - Baut pengikat - Kekencangan belt - Dudukan kipas - Poros dan kopling
4. Motor penggerak kecepatan tidak dapat naik pada kecepatan penuh	a. Bila dipakai starter Secondary resistance, kesalahan pada rangkaian kontrol starter b. Bila dipakai starter variable frekuensi, frekuensi tidak terpenuhi	Periksa apakah kontrol starting secondary resistance bekerja dengan baik Periksa apakah batas frekuensi untuk kecepatan penuh sudah tercapai
5. Motor penggerak berputar terlalu cepat	a. Beban tidak sesuai b. Bila dipakai starter variable frekuensi, frekuensi tidak sesuai dengan kecepatan yang diinginkan	- Periksa beban apakah sesuai dengan karakteristik motor - Periksa batas frekuensi sesuai dengan yang ditetapkan - Yakinkan semuanya sudah sesuai dengan karakteristik motor yang digunakan

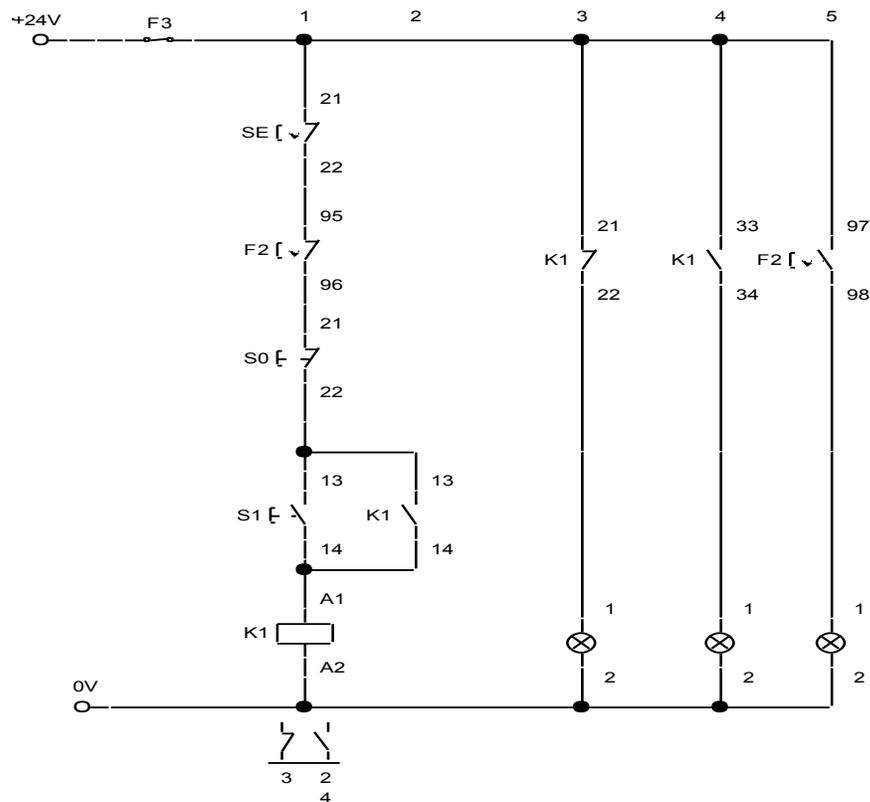
B. Tugas Praktek

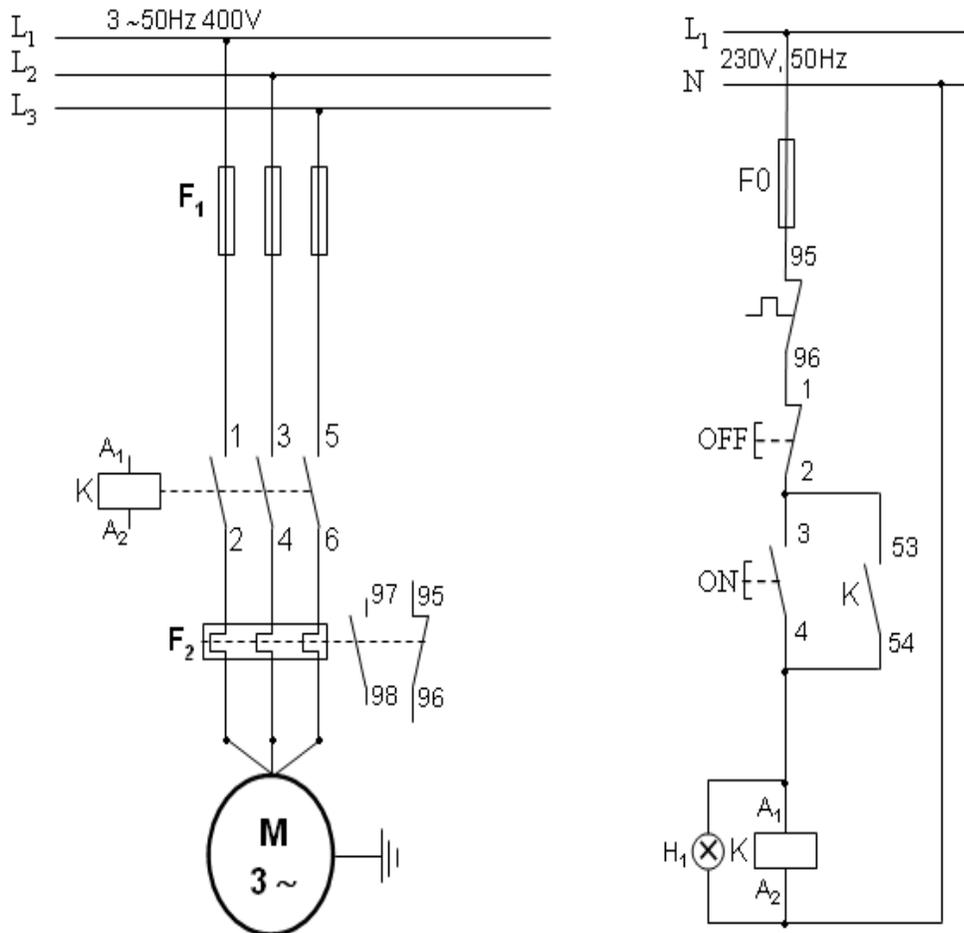
Praktikum Kontrol Elektromekanik

Latihan 1. DOL (Direct On Line).

Tujuan :

- Mengetahui sumber energi yang digunakan
- Memahami simbol-simbol kelistrikan
- Mengenal komponen yang terpasang
- Mengetahui cara kerja komponen
- Mengetahui urutan penempatan komponen
- Mengetahui Penggunaan Pengalih daya
- Memahami cara kerja peralatan
- Memahami cara kerja rangkaian pengendali

Rangkaian pengendali untuk menjalankan motor 3 fasa (*Direct On Line*) :

Rangkaian Daya :

Rangkaian Daya adalah rangkaian yang menghubungkan sumber energi ke beban (motor) dengan dilengkapi sistim pengaman listrik.Berikut ini contoh rangkaian daya untuk menjalankanmotor 3 fasa pada rangkaian pengendali DOL.

Tugas :

1. Buatkan rangkaian pengendali DOL motor 3 fasa.
2. Buatkan rangkaian daya DOL motor 3 fasa.

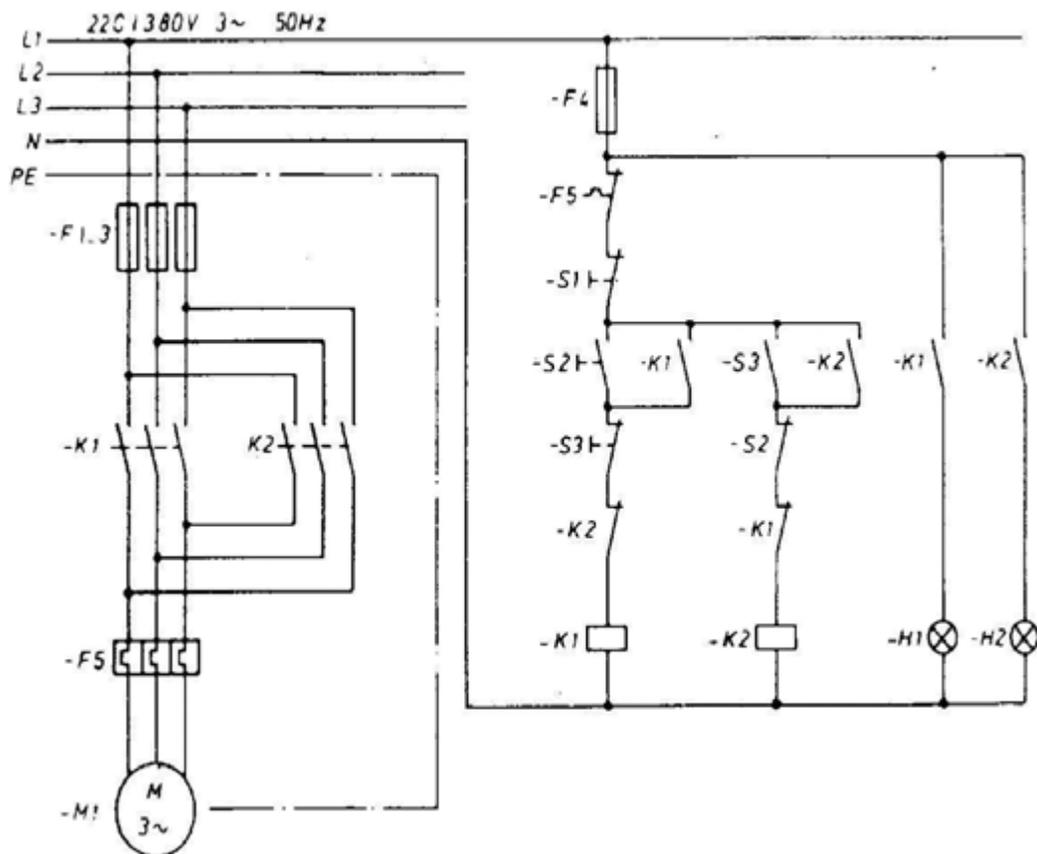
Langkah Kerja:

1. Siapkan alat dan bahan yang akan digunakan
2. Tempatkan panel listrik pada posisi yang kuat dan tidak goyah
3. Pasang komponen yang diperlukan pada rel omega sesuai dengan kebutuhan pada rangkaian pengendali dan rangkaian daya DOL
4. Lakukan pengawatan rangkaian pengendali DOL
5. Lakukan pengawatan rangkaian daya DOL motor 3 fasa
6. Lakukan pengawatan lampu indikator dan Thermal Overload Relay
7. Rencanakan penempatan komponen sesuai dengan tata letak yang praktis dan mudah dalam pemasangannya
8. Kumpulkan hasil pekerjaan jika sudah selesai
9. Setelah selesai bersihkan lingkungan tempat kerja dan kembalikan semua peralatan ke tempat semula.

Latihan 2. Forward–Reverse Motor 3 Fasa

Tujuan :

- Mengetahui sumber energi yang digunakan
- Memahami simbol-simbol kelistrikan
- Mengenal komponen yang terpasang
- Mengetahui cara kerja komponen
- Mengetahui urutan penempatan komponen
- Mengetahui Penggunaan Pengalih daya
- Memahami cara kerja peralatan
- Memahami cara kerja rangkaian pengendali

Rangkaian Pengendali dan Daya :

Prosedur mengoperasikan:

Jika tombol S_2 ditekan, kontaktor K_1 bekerja dan mengunci, motor akan berputar arah kanan dan lampu H_1 menyala. Jika tombol S_3 ditekan, kontaktor K_1 lepas. Kontaktor K_2 akan bekerja, motor ber operasi arah kiri dan lampu H_2 menyala.

Jika S_1 ditekan atau rele arus lebih F_5 bekerja, maka semua kontaktor yang sedang bekerja terputus dan motor akan terlepas dari jala-jala (berhenti) kontaktor satu dan lainnya saling mengunci.

Tugas :

1. Buatkan rangkaian pengendali Forward-Reversemotor 3 fasa.
2. Buatkan rangkaian daya Forward-Reversemotor 3 fasa.

Langkah Kerja:

1. Siapkan alat dan bahan yang akan digunakan.
2. Tempatkan panel listrik pada posisi yang kuat dan tidak goyah.
3. Pasang komponen yang diperlukan pada rel omega sesuai dengan kebutuhan pada rangkaian pengendali dan rangkaian daya Forward-Reverse.
4. Lakukan pengawatan rangkaian pengendali Forward-Reverse.
5. Lakukan pengawatan rangkaian daya Forward-Reversemotor 3 fasa.
6. Lakukan pengawatan lampu indikator dan Thermal Overload Relay.
7. Rencanakan penempatan komponen sesuai dengan tata letak yang praktis dan mudah dalam pemasangannya.
8. Kumpulkan hasil pekerjaan jika sudah selesai.
9. Setelah selesai bersihkan lingkungan tempat kerja dan kembalikan semua peralatan ke tempat semula.

DAFTAR PUSTAKA

1. Christian Mamesah, *Penggunaan Motor dan Sistem Kontrol*, TEDC, 1998.

2. Frans Masse Pakpahan, *Electric Motor Control*, TEDC, 1998.

3. Juhari, *Kontrol Elektromekanik*, Moduk Diklat PPPPTK BMTI, 2012.

4. R L, Mc Intyre, *Electric Motor Control Fundamentals*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 1974.

5. Theraja B L and AK Theraja, *A Text Book of Electrical Technology*, New Delhi India 2002.

6. Thomas E. Kissell, *Modern Industrial/Electrical Motor Controls : Operation, Installation, and Troubleshooting*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 1990.

7. Brown, Mark, *Practical Troubleshooting Electrical Equipment and Control Circuit*, Newnes Linacre, Jordan Hill, Oxford, 2005